

วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ



นางสาวปิยฉัตร ธนารักษ์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

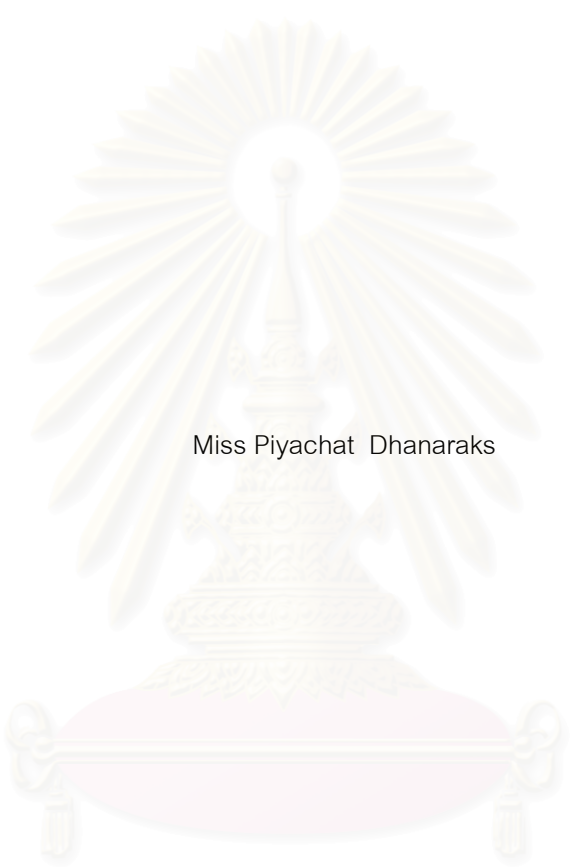
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0481-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPROACH TO AUTOMATICALLY ALIGN PLANAR MOSAIC IMAGE
BY USING COLOR AND EDGE FEATURES



Miss Piyachat Dhanaraks

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0481-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสี
และขอบของวัตถุในภาพ
โดย นางสาวปิยฉัตร ธนารักษ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โคควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โคควาวิสารัช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. จีต ศิริบุญรณ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย ไสวรรณวณิชกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.บัณฑิต ทิพากร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยฉัตร ธนารักษ์ : วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ (AN APPROACH TO AUTOMATICALLY ALIGN PLANAR MOSAIC IMAGE BY USING COLOR AND EDGE FEATURES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.นงลักษณ์ โควาวีสารัช, 130 หน้า. ISBN 974-03-0481-8.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นคือสีและขอบของวัตถุในภาพ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดเรียงภาพ 2 วิธีด้วยกันคือ การจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ และการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ

ขั้นตอนการทำโมเสกภาพทั้งสองวิธีเริ่มต้นด้วยแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาและหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธี Sobel ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายเพื่อสร้างเป็นพีระมิดความละเอียด การจัดเรียงภาพเริ่มต้นในภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดโดยจะคำนวณค่าจากตัววัดการเบี่ยงคู่สีหรือขอบในทุก ๆ การเลื่อนภาพที่เป็นไปได้และใช้เกณฑ์การคัดออกเพื่อตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไป ทำซ้ำกระบวนการนี้ต่อไปในการจัดเรียงภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้นในพีระมิดจนกระทั่งถึงระดับของภาพต้นฉบับ ภาพผลลัพธ์ของการทำโมเสกภาพสร้างจากตำแหน่งที่มีความคล้ายกันของบริเวณที่ซ้อนทับกันมากที่สุดโดยการเฉลี่ยค่าสีในโมเดลสี HSV ของจุดภาพที่ซ้อนทับกัน

ตัววัดการเบี่ยงคู่สีที่ใช้ในวิธีการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพคือค่าเฉลี่ยของค่า r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ส่วนในการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพจะใช้การอินเตอร์เซกของฮิสโทแกรมสีเป็นตัววัดการเบี่ยงคู่สีในระดับภาพที่มีความละเอียดต่ำและในระดับภาพต้นฉบับยังคงใช้ค่าเฉลี่ยของค่า r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 เช่นเดียวกับในวิธีการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพนำเข้า 3 ประเภท คือภาพจากการตัดส่วนจากภาพขนาดใหญ่ ภาพจากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล ทำการประเมินผลการจัดเรียงภาพสองลักษณะคือประเมินความถูกต้องโดยคนจำนวน 30 คนประเมินชุดภาพทดสอบรวม 40 ชุดภาพ และเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพของทั้งสองวิธี จากการทดลองสรุปได้ว่าการจัดเรียงภาพส่วนใหญ่ถูกต้องโดยที่วิธีการที่ใช้สีและขอบของวัตถุในภาพสามารถจัดเรียงภาพได้ถูกต้องมากกว่าวิธีการที่ใช้ขอบ ส่วนการวัดผลด้านความเร็วของการจัดเรียงภาพ โดยทั่วไปการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพสามารถจัดเรียงภาพได้รวดเร็วกว่าการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170408121 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: IMAGE MOSAICING/ IMAGE ALIGNMENT/ CHAMFER MATCHING ALGORITHM/
HISTOGRAM INTERSECTION/ MULTIREOLUTION

PIYACHAT DHANARAKS : AN APPROACH TO AUTOMATICALLY ALIGN PLANAR MOSAIC
IMAGE BY USING COLOR AND EDGE FEATURES. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF.
NONGLUK COVAVISARUCH , 130 pp. ISBN 974-03-0481-8.

The purposes of this research are to study and to develop an automatically align planar mosaic image by using color and edge features. This research proposes two image alignment methods, which are an image alignment using edge feature and an image alignment using color and edge features.

For both proposed methods, input images are transformed from color into gray-scale images. Simple Sobel edge detection is applied to find edges before building resolution pyramids. After that, images are aligned from the lowest resolution image in every possible transformations using color or edge matching measures. The rejection criteria is used to reduce improper transformations. This process is repeats in higher resolution in the pyramid until the original resolution image is reached. The output of image mosaicing is constructed at the position where the edges of both images are most matched.

In this research, the edge matching measure for image alignment using edge method is root mean square average of edge's 3-4 distance, while the color matching measure is color histogram intersection at the lower resolution images and root mean square average of edge's 3-4 distance at the original resolution image are for the image alignment using color and edge method.

The proposed methods have been tested with three types of image sets – image sets from portions of one large image, image sets acquired from a scanner and image sets from a digital camera. Two evaluation aspects that are used in this research are the correctness evaluation by 30 human evaluators on 40 image sets, and the speed of both image alignment methods. From the experiments, it can be concluded that both alignment methods generally give good results. The method using color and edge is found to give better results as well as to process faster than the method using edge alone.

Department	Computer Engineering	Student's signature
Field of study	Computer Science	Advisor's signature
Academic year	2001	Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผศ.นงลักษณ์ โคววิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้า ด้วยดีตลอดมา ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ CGCI ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดี ตลอดมาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณกันตา กิตติยานันท์ที่ช่วยให้กำลังใจในการทำงาน ช่วยให้บรรยากาศการทำงานสนุกสนาน และตรากตรำการทำงานมาพร้อมกันตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รหัสปี 41 ที่ช่วยผ่อนคลายความเครียดและจัดหาอาหารระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณพรทิวี วัฒนวิฑูกร ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ห้องปฏิบัติการ CGCI และที่บ้านที่คอยร่วมทุกข์ร่วมสุขมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การดูแล อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งส่งเสริมให้การศึกษาอย่างต่อเนื่องให้กับผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ความรู้เบื้องต้นและทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทำโมเสกภาพ	
2.1 ความหมายของการทำโมเสกภาพ	4
2.2 ขั้นตอนในการทำโมเสกภาพ	5
2.3 การหาขอบของวัตถุในภาพ.....	6
2.4 การเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชนจ์ลำดับชั้น.....	8
2.4.1 ข้อมูลการนำเข้า	9
2.4.2 ตัววัดการเปรียบเทียบ	11
2.4.3 พีระมิดความละเอียด	12
2.4.4 เกณฑ์การคัดออก	14
2.5 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา.....	15
2.6 การแปลงค่าสีในโมเดลสี RGB เป็นโมเดลสี HSV.....	15
2.7 การควอนไทซ์สี.....	16
2.8 ตัววัดการเปรียบเทียบสี.....	17
3 การออกแบบกระบวนการทำโมเสกภาพ	
3.1 ข้อกำหนดของกระบวนการทำโมเสกภาพ.....	19
3.2 หลักการเบื้องต้นของการทำโมเสกภาพ	19

3.3	ปัจจัยที่สำคัญในการจัดเรียงภาพแบบอัตโนมัติ	21
3.4	การทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ	24
3.5	การทำโมเสกภาพโดยนำสีเข้ามาประยุกต์กับขอบของวัตถุในภาพ	29
3.6	การเปรียบเทียบกระบวนการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ	
	กับการทำโมเสกภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ	32
3.6.1	การเปรียบเทียบในส่วนการประมวลผลก่อน	33
3.6.2	การเปรียบเทียบในส่วนการจัดเรียงพีระมิดของภาพ	33
3.7	สรุป	34
4	การทดลองและผลลัพธ์	
4.1	รายละเอียดของชุดภาพที่นำเข้า	35
4.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3	การประเมินผล	
4.3.1	ความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ	36
4.3.2	ความเร็วในการจัดเรียงภาพ	39
4.4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในการประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ	42
4.5	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพ	50
4.5.1	การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบด้วยภาพที่มี	
	จำนวนขอบแตกต่างกัน	50
4.5.2	การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบด้วยภาพที่มี	
	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพ	
	ต่าง ๆ กัน	53
4.5.3	การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบกับวิธีการสีและขอบ ..	54
4.6	สรุป	65
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	66
5.2	ข้อเสนอแนะ	67
	รายการอ้างอิง	69
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก	
	บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ	71
	ภาคผนวก ข	

แบบการประเมินผล	80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	130



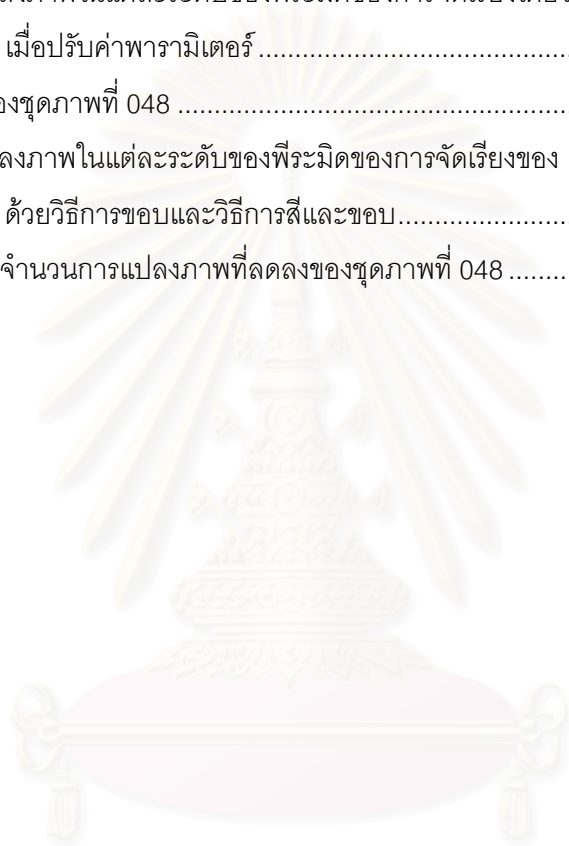
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่

3.1	โครงสร้างข้อมูลของพีระมิดในการทำภาพโมเสกโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ.....	26
3.2	โครงสร้างข้อมูลของพีระมิดในการทำภาพโมเสกโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ.....	30
4.1	รายละเอียดในการสแกนภาพ.....	35
4.2	รายละเอียดในการถ่ายภาพ.....	36
4.3	ค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการจัดเรียงภาพ.....	37
4.4	รายละเอียดของชุดภาพที่นำมาใช้ในการประเมินผลความถูกต้อง.....	38
4.5	ตัวอย่างจำนวนตำแหน่งที่แปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด.....	40
4.6	การคำนวณเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด.....	41
4.7	สรุปผลการทดลองจากแบบการประเมินผลในภาคผนวก ข.....	42
4.8	รายละเอียดของชุดภาพที่ 041 และ 042.....	50
4.9	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 041 และ 042.....	52
4.10	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 041 และ 042.....	52
4.11	รายละเอียดของชุดภาพที่ 043 และ 044.....	53
4.12	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงโดยวิธีขอบของชุดภาพที่ 043 และ 044.....	54
4.13	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 043 และ 044.....	55
4.14	รายละเอียดของชุดภาพที่ 045.....	55
4.15	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงของชุดภาพที่ 045 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ.....	56
4.16	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 045.....	57
4.17	รายละเอียดของชุดภาพที่ 046.....	57
4.18	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงของชุดภาพที่ 046 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ.....	59
4.19	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 046.....	59
4.20	ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใหม่สำหรับชุดภาพที่ 046.....	60
4.21	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 046 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์.....	60

4.22	รายละเอียดของชุดภาพที่ 047.....	60
4.23	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงของ ชุดภาพที่ 047 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ.....	61
4.24	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 047.....	62
4.25	ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใหม่สำหรับชุดภาพที่ 047	62
4.26	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงโดยวิธีการขอบของ ชุดภาพที่ 047 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์.....	62
4.27	รายละเอียดของชุดภาพที่ 048	63
4.28	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงของ ชุดภาพที่ 048 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ.....	64
4.29	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 048	64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		
2.1	ตัวอย่างภาพกระดาน	5
2.2	ขั้นตอนการทำงานของการทำงานโมเสกภาพ.....	6
2.3	หน้ากากขนาด 3 x 3 สำหรับการหาขอบภาพโดยวิธีการ Sobel	7
2.4	ตัวอย่างภาพที่ถูกกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการหาภาพระยะทาง	9
2.5	หน้ากากสำหรับการคำนวณภาพระยะทาง	10
2.6	ตัวอย่างภาพที่เกิดขึ้นจากการคำนวณระยะห่างของขอบที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ.....	10
2.7	ภาพ Prepolygon	11
2.8	แสดงถึง Polygon วางทับลงบนภาพระยะทางเพื่อคำนวณหาค่าระยะทางขอบ	12
2.9	พีระมิดความละเอียด	13
2.10	แสดงถึงการแปลงค่าสีจากโมเดลสี RGB ไปเป็นโมเดลสี HSV.....	17
2.11	แสดงการอินเตอร์เซกกันของฮิสโทแกรม	18
3.1	ตัวอย่างภาพนำเข้าจากสแกนเนอร์.....	20
3.2	หลักการในการทำโมเสกภาพ	21
3.3	ลักษณะการทับกันของภาพสองภาพ.....	23
3.4	ขั้นตอนการทำงานโมเสกภาพ	25
3.5	ขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ.....	27
3.6	แสดงถึง Polygon วางทับลงบนภาพระยะทางเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทาง ขอบแบบ 3-4.....	28
3.7	ขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ	31
4.1	กราฟแสดงผลการทดลองที่ได้จากการประเมินผลความถูกต้องของภาพ	46
4.2	ตัวอย่างภาพแผนที่ที่จัดเรียงถูกต้องทั้งโดยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ	46
4.3	ตัวอย่างภาพป้ายชื่อโรงเรียนที่จัดเรียงถูกต้องทั้งโดยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ	47
4.4	ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการขอบเป็นภาพที่มีรูปร่างของวัตถุภายในภาพมี ลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่มีสีต่างกัน.....	47
4.5	ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการขอบเป็นภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพจำนวนมาก	48
	หรือจุดภาพเกือบทุกจุดมีความเป็นขอบ	48
4.6	ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการสีและขอบเป็นภาพที่มีโทนสีต่างกัน.....	49
4.7	ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการสีและขอบเป็นภาพที่มีโทนสีต่างกัน.....	49

4.8 ตัวอย่างชุดภาพที่ 041 ที่มีอัตราส่วนชอบประมาณ 0.12.....51

4.9 ตัวอย่างชุดภาพที่ 042 ที่มีอัตราส่วนชอบประมาณ 0.67.....51

4.10 ตัวอย่างชุดภาพที่ 043 ที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H ประมาณ 0.96.....53

4.11 ตัวอย่างชุดภาพที่ 044 ที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H ประมาณ 0.3454

4.12 ตัวอย่างชุดภาพที่ 045 ที่มีอัตราส่วนชอบมากและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H มาก56

4.13 ตัวอย่างชุดภาพที่ 046 ที่มีอัตราส่วนชอบมากและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H น้อย58

4.14 ภาพผลลัพธ์ของการจัดเรียงโดยวิธีการชอบของชุดภาพที่ 046 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์.....59

4.15 ตัวอย่างชุดภาพที่ 047 ที่มีอัตราส่วนชอบน้อยและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H มาก61

4.16 ตัวอย่างชุดภาพที่ 048 ที่มีอัตราส่วนชอบน้อยและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H น้อย63

ข.1 ถึง ข.80 ภาพที่ใช้ในแบบประเมินผล.....83-129



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำโมเสกภาพ (Image mosaicing) นั้นเป็นวิธีการที่ใช้ในการเชื่อมภาพเล็ก ๆ หลายภาพเข้าเป็นภาพขนาดใหญ่เพียงภาพเดียว โดยเฉพาะในกรณีที่ภาพเล็ก ๆ เหล่านั้นไม่สามารถเก็บรายละเอียดทั้งหมดที่ต้องการไว้ภายในภาพเดียวได้ จึงเกิดความจำเป็นในการสร้างภาพขนาดใหญ่ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าภาพขนาดเล็ก ๆ หลายภาพ การทำภาพโมเสกได้นำไปประยุกต์ในหลายปัญหาด้วยกัน ดังตัวอย่างปัญหาที่ทำให้เกิดการทำให้โมเสกต่อไปนี้

กล้องถ่ายภาพธรรมดาที่ใช้กันทั่วไปมีขีดจำกัดเกี่ยวกับขนาดของภาพที่สามารถถ่ายได้ คือภาพที่ถ่ายได้มีขนาดแคบกว่ามุมมองที่คนเราสามารถมองเห็นได้ หากต้องการถ่ายภาพในลักษณะพาโนรามา (Panorama) หรือภาพที่มีมุมมองกว้างขึ้นนั้นจะต้องใช้กล้องที่มีเลนส์ที่เรียกว่า เลนส์ตาปลา (Fish-eye lens) หรือใช้อุปกรณ์พิเศษที่สามารถหมุนกล้องรอบจุดกึ่งกลางได้ เช่น ควิกไทม์วีอาร์ (Quicktime VR) หรือ เซอร์ราวดวีดีโอ (Surround video) เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีราคาสูง มีข้อจำกัดในการถ่ายภาพและบางครั้งก็ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของภาพขึ้นด้วย [1]

การรับภาพผ่านทางสแกนเนอร์ก็มีปัญหาเช่นเดียวกับการถ่ายภาพ หากภาพมีขนาดใหญ่ เครื่องสแกนเนอร์ขนาดเล็กจะไม่สามารถรับข้อมูลภาพเข้ามาได้ในครั้งเดียว แต่การใช้เครื่องสแกนเนอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น ถึงแม้ว่าอาจจะสามารถรับภาพเข้ามาได้ในครั้งเดียว แต่ราคาของเครื่องสแกนเนอร์ก็จะสูงตามไปด้วย [2, 3]

การจัดทำแผนที่ทางอากาศนั้นเกิดจากการนำรูปถ่ายทางอากาศจำนวนมากมาเชื่อมต่อกันเข้าเป็นแผนที่ขนาดใหญ่ นอกจากนั้นในการถ่ายภาพทางอากาศ ภาพแต่ละภาพอาจจะมีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันไปด้วย ทำให้มีความยุ่งยากในการเชื่อมต่อกันขึ้น ในอดีตการจัดทำแผนที่นี้จะกระทำด้วยมนุษย์ ซึ่งจะใช้เวลานานและผลลัพธ์ที่ได้จะมีความไม่ถูกต้องและความไม่เป็นระเบียบสูงอีกด้วย [4]

นอกจากปัญหาต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว การสร้างภาพโมเสกมักมีการกำหนดจุดควบคุมหรือที่เรียกว่า Control point ซึ่งเป็นจุดที่บอกถึงตำแหน่งเดียวกันในภาพที่จะนำมาเชื่อมต่อเพื่อใช้จุดนี้เป็นหลักอ้างอิงในการเชื่อมภาพทั้งสองเข้าด้วยกัน ในอดีตนั้นการกำหนดจุดเหล่านี้มักให้มนุษย์เป็นผู้กำหนดอีกด้วย

จากปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การศึกษาวิธีการทำโมเสกภาพโดยการนำชุดของภาพขนาดเล็กหลาย ๆ ภาพที่มีส่วนเหลื่อมล้ำกันมาเชื่อมต่อเป็นภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและมีประโยชน์อย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นคือสีและขอบของวัตถุในภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติจากภาพขนาดเล็กหลายภาพโดยพิจารณาจากลักษณะทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ

2. พัฒนาโปรแกรมในการสร้างภาพโมเสกแนวระนาบ

3. เพิ่มข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในวิจัย เป็นภาพดังต่อไปนี้

3.1 เพิ่มข้อมูลภาพของส่วนของภาพขนาดใหญ่ที่ได้จากการรับข้อมูลจากสแกนเนอร์ขนาดเล็กหลายครั้งที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์แบบเดียวกัน

3.2 เพิ่มข้อมูลภาพถ่ายแนวระนาบโดยกล้องดิจิทัลที่ใช้ถ่ายจะเลื่อนในแนวขนานกับฉากระนาบ (Planar scene)

4. ภาพดิจิทัลในงานวิจัย มีลักษณะดังต่อไปนี้

4.1 ภาพทั้งหมดเป็นภาพต่อเนื่องลักษณะสี่เหลี่ยมมุมฉากและไม่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่างการถ่ายภาพ

4.2 ภาพทั้งหมดมีการกำหนดลำดับของภาพในการจัดเรียงโดยภาพในลำดับหลังจะต้องมีส่วนที่เหลื่อมกับภาพในลำดับก่อนหน้า

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) เทคนิคการจัดเรียงภาพ (Image alignment) และเทคนิคการปรับค่าสีให้กลมกลืนกัน (Image blending)
2. ศึกษาลักษณะของภาพที่นำเข้า
3. พัฒนาโปรแกรมและทดลองประมวลผลภาพจากทฤษฎีที่ได้ศึกษามา
4. ทดสอบและประเมินความถูกต้อง
5. แก้ไขข้อผิดพลาด
6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ
7. จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเชื่อมภาพที่ขนาดเล็กหลายภาพให้มีขนาดภาพที่ใหญ่ขึ้นได้ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์นำเข้าภาพขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาสูง
2. สามารถเชื่อมต่อภาพอย่างอัตโนมัติ ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้การทำงานโดยมนุษย์เข้ามาช่วย
3. สามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาการสร้างภาพโมเสกประเภทอื่นได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นและทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ ในการทำโมเสกภาพ

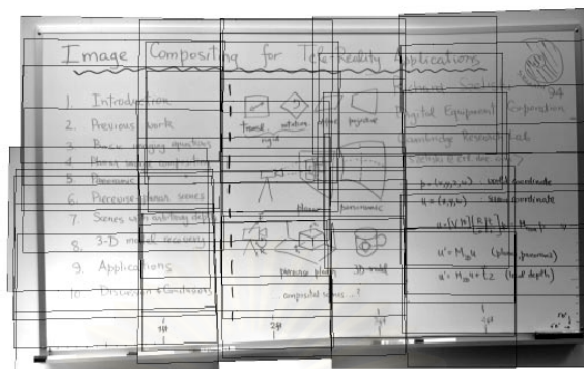
ในบทนี้เป็นการนำเสนอความรู้เบื้องต้นและทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการทำโมเสกภาพ (Image mosaicing) เริ่มต้นด้วยการอธิบายถึงความหมายและขั้นตอนการทำโมเสกภาพ จากนั้นจะนำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการประมวลผลภาพที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยสามารถแบ่งเป็นส่วน ของทฤษฎีเกี่ยวกับขอบของวัตถุในภาพ ประกอบด้วย การหาขอบของวัตถุในภาพและการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบภาพโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านขอบของวัตถุในภาพ และส่วนทฤษฎีทางด้านสีที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นตั้งแต่การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา การแปลงค่าสีจากโมเดลสี RGB ไปเป็นโมเดลสี HSV ตามด้วยการควอนไทซ์สี และสุดท้ายกล่าวถึงตัววัด การเปรียบเทียบโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสี ทฤษฎีเหล่านี้จะถูกนำไปประยุกต์และรวบรวมขึ้นเพื่อใช้ในการ ทำโมเสกภาพซึ่งจะนำเสนอในบทถัดไป

2.1 ความหมายของการทำโมเสกภาพ

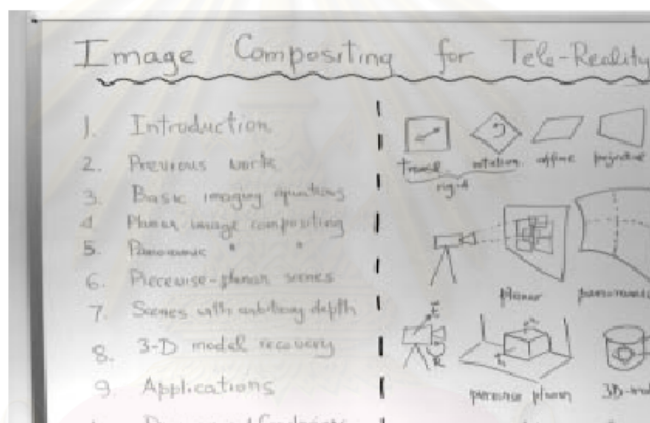
ความหมายโดยทั่วไปของ*การทำโมเสกภาพ* [1, 3, 5] หมายถึงกระบวนการเชื่อมภาพขนาดเล็กตั้งแต่สองภาพขึ้นไปเป็นภาพขนาดใหญ่เพียงภาพเดียว โดยในที่นี้ภาพขนาดเล็กเหล่านั้นต้องมีส่วนที่ เหลื่อมล้ำกันด้วย และต้องพยายามทำให้ภาพที่ได้จากการเชื่อมต่อนั้นมีความต่อเนื่องเสมือนเป็นภาพ เดียวกัน คือไม่เห็นร่องรอยการเชื่อมระหว่างภาพ ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะเรียกว่า *ภาพโมเสก (Mosaic image)* ซึ่งได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ครั้งแรกในการสร้างภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ ขนาดใหญ่ และหากพิจารณาในด้านการถ่ายภาพ ภาพโมเสกที่ได้จะเรียกว่าภาพพาโนรามามา (Panoramic image) พาโนรามิกโมเสก (Panoramic mosaic) หรือพาโนรามามา (Panorama)

ภาพโมเสกในงานวิจัยนี้เป็นภาพโมเสกแนวระนาบ โดยภาพชนิดนี้เกิดจากการประกอบกันของ ภาพที่มีมุมมองในลักษณะเป็นระนาบ (Planar scene) [6] เช่น ภาพเอกสาร ภาพวาดหรือภาพที่ได้จาก การนำเข้าด้วยเครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น ในบางครั้งอาจเป็นภาพที่ถ่ายในระยะใกล้ก็ได้ โดยจะทำการ ฉายภาพลงบนพื้นผิวระนาบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปการเชื่อมภาพของภาพโมเสกแนวระนาบ

จะอาศัยการแปลงภาพ (Transformation) โดยการเลื่อน (Translation) หรือการหมุน (Rotation) แต่ในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงเฉพาะการแปลงภาพโดยการเลื่อนเท่านั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพกระดาน [6]

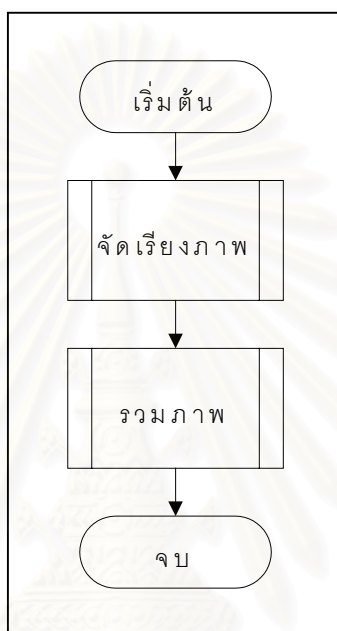
(ก) ภาพกระดานขนาดเล็กวางเชื่อมต่อกัน (ข) ภาพโมเสกแนวระนาบที่สร้างจากรูป (ก)

2.2 ขั้นตอนในการทำโมเสกภาพ

ขั้นตอนในการทำโมเสกภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การจัดเรียงภาพ (Image alignment) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำโมเสกภาพ คือเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการจัดเรียงภาพ โดยเมื่อทำการเชื่อมต่อภาพ ณ ตำแหน่งดังกล่าว ส่วนที่ทับกันจะมีลักษณะเหมือนกันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมต่อกันในตำแหน่งอื่น ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไปในบทที่ 3

2. การรวมภาพ (Image integration) เป็นขั้นตอนหลังจากการจัดเรียงภาพแล้วโดยจะทำการเชื่อมภาพเข้าด้วยกันในตำแหน่งที่ได้จากการจัดเรียงภาพ หลังจากการรวมภาพเข้าด้วยกันแล้ว ในบางครั้งค่าความเข้มแสงของภาพที่นำเข้าอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีการปรับค่าสีนี้เพื่อให้ภาพสุดท้ายที่ได้จากการทำโมเสกภาพแล้วจะรวมกันเสมือนเป็นภาพเดียวโดยจะทำให้แนวของการเชื่อมต่อนั้นไม่สามารถสังเกตเห็นได้ กระบวนการนี้เรียกว่าการปรับภาพให้กลมกลืนกัน (Image blending) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการรวมภาพ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานการทำโมเสกภาพ

2.3 การหาขอบของวัตถุในภาพ (Edge detection)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกขอบของวัตถุในภาพเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งเพื่อช่วยในการจัดเรียงภาพ เนื่องจากขอบของวัตถุในภาพนี้เป็นคุณสมบัติที่สามารถเป็นตัวแทนของวัตถุในภาพได้อย่างเด่นชัด ดังนั้นการหาขอบของวัตถุในภาพจึงเป็นวิธีที่การที่สำคัญอย่างหนึ่งในขั้นตอนการประมวลผลในงานวิจัยนี้

การเปลี่ยนแปลงหรือความไม่ต่อเนื่องในฟังก์ชันค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่เกิดจากการส่องสว่างหรือลักษณะทางกายภาพของวัตถุเอง เช่น ลักษณะของพื้นผิว และรูปทรง เป็นปัจจัยพื้นฐานที่บอกถึงขอบเขตทางกายภาพของวัตถุที่อยู่ในภาพนั้น หากพิจารณาที่ตำแหน่ง (x,y) ใด ๆ จะแทนค่าฟังก์ชัน $f(x,y)$ เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพ ดังนั้นจึงสามารถหาขอบของวัตถุในภาพได้โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x,y)$ นั้นเอง

การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x,y)$ สามารถหาได้จากอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของ $f(x,y)$ [7] ดังเช่น หากต้องการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ $f(x,y)$ ก็สามารถทำได้โดยแทนด้วย ∇f และเรียก ∇f ว่า **Gradient** ของ f ที่ตำแหน่ง (x,y) ดังสมการที่ 2.1

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \quad \dots(2.1)$$

หรือเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \dots(2.2)$$

ซึ่งสามารถหา Magnitude ของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad \dots(2.3)$$

แต่ในทางปฏิบัติการประมาณค่า Gradient สามารถประมาณจากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังสมการที่ 2.4

$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \quad \dots(2.4)$$

ฟังก์ชันที่ได้เหล่านี้ สามารถนำมาปรับใช้กับภาพดิจิทัลในลักษณะที่ $f(x,y)$ ที่เป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องได้นั่นเอง โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Sobel ซึ่งนิยมใช้หาขอบของวัตถุในภาพ เพราะมีความง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้โดยหน้ากาก (Mask) ขนาด 3×3 ในทิศทางแกน X และในทิศทางแกน Y ซึ่งแสดงในดังรูปที่ 2.3 และสามารถแสดงเป็นดังสมการที่ 2.5 และ 2.6 [7]

$$\begin{array}{ccc} \begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 \\ z_7 & z_8 & z_9 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ (ก) & (ข) & (ค) \end{array}$$

รูปที่ 2.3 หน้ากากขนาด 3×3 สำหรับการหาขอบภาพโดยวิธีการ Sobel

(ก) หน้ากาก 3×3

(ข) หน้ากากสำหรับการคำนวณ G_x ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้ากาก หรือหน้ากากในทิศทางแกน X

(ค) หน้ากากสำหรับการคำนวณ G_y ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้ากาก หรือหน้ากากในทิศทางแกน Y

$$G_x = -(z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_8 + z_9) \quad \dots(2.5)$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ z = ค่าระดับเทาของจุดภาพที่ซ้อนทับลงบนหน้ากาก ณ ตำแหน่งใด ๆ บนภาพ

2.4 การเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น (Hierarchical chamfer matching)

การเปรียบเทียบเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์วิชัน (Computer vision) การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) และการรู้จำแบบ (Pattern recognition) ซึ่งเป็นกระบวนการที่หาตำแหน่งจุดภาพหรือบริเวณที่สอดคล้องกันระหว่างภาพสองภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพมาใช้ในการจัดเรียงภาพ เนื่องจากต้องการกำหนดบริเวณที่สอดคล้องกันระหว่างภาพต่อเนื่องสองภาพที่มีบริเวณที่ซ้อนทับกัน ส่วนการเลือกใช้ขอบของวัตถุภายในภาพซึ่งเป็นลักษณะเด่นภายในภาพอย่างหนึ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพราะเป็นลักษณะเด่นระดับต่ำที่สำคัญที่สุดซึ่งสามารถแสดงข้อมูลภายในภาพได้เป็นอย่างดี ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการเปรียบเทียบโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านขอบของวัตถุในภาพที่เรียกว่าการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น

ในปี ค.ศ. 1988 Gunilla Borgefors เสนอบทความเรื่องการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ มีชื่อว่า "Hierarchical chamfer matching: A parametric edge matching algorithm" [8] ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงการเปรียบเทียบโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านขอบของวัตถุในภาพที่เรียกว่า การเปรียบเทียบแบบ Chamfer ซึ่งวิธีนี้ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1977 การเปรียบเทียบแบบ Chamfer เป็นเทคนิคของการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพ (Edge matching) โดยเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพของสองภาพที่แตกต่างกัน และพยายามทำให้ระยะห่างระหว่างขอบของวัตถุในภาพทั้งสองน้อยที่สุด ส่วนขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น (Hierarchical chamfer matching algorithm หรือ HCMA) นี้ได้ปรับปรุงเทคนิคนี้โดยการนำเอาหลักการของภาพที่มีความละเอียดหลายระดับ (Multiresolution) คือการเปรียบเทียบจะกระทำกับชุดของภาพเดียวกันที่มีความละเอียดต่างกันไป การใช้โครงสร้างที่เป็นลำดับชั้นเช่นนี้จะช่วยลดการคำนวณลงได้ ซึ่งขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้นนี้ได้นำไปประยุกต์ในงานหลาย ๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น การรู้จำวัตถุ (Object recognition) และการทำรีจิสเทรชันของภาพถ่ายดาวเทียม (Aerial image registration) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพของภาพถ่ายทางอากาศกับขอบของวัตถุในภาพของแผนที่ เป็นต้น หลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.4.1 ข้อมูลนำเข้า

ภาพนำเข้าในขั้นตอนวิธีนี้เป็นภาพลักษณะพื้นฐานสองที่แสดงขอบของวัตถุในภาพจำนวนสองภาพ โดยภาพหนึ่งทำให้เป็นภาพ Predistance และอีกภาพหนึ่งเป็นภาพ Prepolygon การเลือกให้ภาพใดเป็นภาพ Predistance หรือเป็นภาพ Prepolygon นั้นขึ้นอยู่กับวิธีการประยุกต์ใช้งาน

ภาพ Predistance

ภาพ Predistance ได้จากการนำภาพลักษณะพื้นฐานสองซึ่งแสดงขอบของวัตถุในภาพไปผ่านกระบวนการซึ่งเรียกว่าการแปลงภาพระยะทาง (Distance transformation หรือ DT) กระบวนการนี้แปลงค่าของจุดภาพที่ไม่ใช่ขอบของวัตถุในภาพให้เป็นค่าระยะทางจากจุดภาพนั้นไปยังขอบของวัตถุในภาพที่ใกล้ที่สุด และแปลงค่าของจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพให้มีค่าเท่ากับ 0 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่าภาพระยะทาง (Distance image)

การแปลงภาพระยะทางนั้นมีได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่นการแปลงภาพระยะทางแบบ Euclidean (Euclidean DT) แบบ City block (City block DT) หรือแบบ 2-3 (2-3 DT) โดยในบทความของ Borgfors นี้ได้ใช้การแปลงภาพระยะทางแบบ 3-4 (3-4 DT) หลักการพื้นฐานของกระบวนการแปลงภาพระยะทางแบบ 3-4 อย่างคร่าว ๆ คือทำการประมาณค่าระยะทางแบบครอบคลุมภายในภาพโดยการแพร่ (Propagation) ของระยะทางแบบเฉพาะที่ไปทั่วทั้งภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับภาพลักษณะพื้นฐานสองที่เป็นขอบของวัตถุในภาพโดยกำหนดจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพให้มีค่าเท่ากับ 0 และตำแหน่งของจุดภาพที่ไม่ใช่ขอบของวัตถุในภาพให้มีค่าเท่ากับค่าไม่รู้จบ (Infinity) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพที่ถูกกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการหาภาพระยะทาง

2. ในแต่ละรอบ ทำการคำนวณค่าของทุก ๆ ตำแหน่งของจุดภาพใหม่ด้วยสมการที่ 2.7 หรือหน้าปกในรูปที่ 2.5 โดยการคำนวณนี้จะไม่ทำกับขอบของวัตถุในบริเวณริมภาพ ตัวอย่างของการคำนวณ

ภาพระยะทางในแต่ละรอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 โดยค่าระยะทางในตำแหน่งจุดภาพสี่เทาแสดงถึงตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าในรอบนั้น ๆ

$$v_{i,j}^k = \min(v_{i-1,j-1}^{k-1} + 4, v_{i-1,j}^{k-1} + 3, v_{i-1,j+1}^{k-1} + 4, v_{i,j-1}^{k-1} + 3, v_{i,j}^{k-1}, v_{i,j+1}^{k-1} + 3, v_{i+1,j-1}^{k-1} + 4, v_{i+1,j}^{k-1} + 3, v_{i+1,j+1}^{k-1} + 4) \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ $v_{i,j}^k$ = ค่าระยะทางจากขอบของวัตถุที่ใกล้ที่สุด ณ ตำแหน่ง (i,j) รอบที่ k

$$\min \begin{bmatrix} +4 & +3 & +4 \\ +3 & +0 & +3 \\ +4 & +3 & +4 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.5 หน้ากากสำหรับการคำนวณภาพระยะทาง

3. วนทำข้อ 2 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีค่าใดในภาพเปลี่ยนแปลง จำนวนรอบที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับระยะทางที่ยาวที่สุดที่เกิดขึ้นภายในภาพ รูปที่ 2.6 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากรูปที่ 2.4 ในแต่ละรอบ

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	∞	∞	∞	∞	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	7	3	0	∞
∞	∞	∞	11	7	3	0	∞
∞	∞	15	11	7	3	0	∞
∞	19	15	11	7	3	0	∞
∞	19	15	11	7	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ก)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	∞	∞	11	6	3	0	∞
∞	∞	15	10	6	3	0	∞
∞	19	14	10	6	3	0	∞
∞	18	14	10	6	3	0	∞
∞	18	14	10	6	3	0	∞
∞	18	14	10	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ข)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	19	14	9	6	3	0	∞
∞	18	13	9	6	3	0	∞
∞	17	13	9	6	3	0	∞
∞	17	13	9	6	3	0	∞
∞	17	13	9	6	3	0	∞
∞	17	13	9	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ค)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	17	12	9	6	3	0	∞
∞	16	12	9	6	3	0	∞
∞	16	12	9	6	3	0	∞
∞	16	12	9	6	3	0	∞
∞	16	12	9	6	3	0	∞
∞	16	12	9	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ง)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(จ)

(ข)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างภาพที่เกิดขึ้นจากการคำนวณระยะห่างของขอบที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ (ก) ถึง (ข) รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 6

ภาพ Prepolygon

ภาพ Prepolygon แสดงถึงภาพลักษณะพื้นฐานสองของขอบของวัตถุในภาพ โดยภาพ Prepolygon ถูกทำการแยกส่วนจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพและแปลงเป็นรายการของคู่ลำดับ ซึ่งแต่ละคู่ลำดับจะประกอบด้วยแถวและสดมภ์ของขอบของวัตถุในภาพ รายการของคู่ลำดับเหล่านี้เรียกว่า Polygon ตัวอย่างเช่นให้รูป 2.7 แสดงถึงภาพ Prepolygon ดังนั้น Polygon ซึ่งเป็นรายการของคู่ลำดับของขอบของวัตถุในภาพมีค่าดังต่อไปนี้ (1,6), (2,5), (3,2), (5,3), (5,4), (5,7), (6,4), (7,2), (7,3) และ (8,1)

สดมภ์	1	2	3	4	5	6	7	8
แถว						0		
					0			
	0							
		0	0				0	
				0				
	0	0						
0								

รูปที่ 2.7 ภาพ Prepolygon

2.4.2 ตัววัดการเปรียบเทียบคู่ขอบ (Edge matching measure)

โดยทั่วไปการเปรียบเทียบคู่จะมีตัววัดความคล้ายคลึงกันของภาพที่นำมาเปรียบเทียบคู่กัน ในขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer ซึ่งลำดับขั้น จะคำนวณค่าจากตัววัดการเปรียบเทียบคู่โดยนำ Polygon ที่ได้นำมาวางทับลงบนภาพระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนตัววัดการเปรียบเทียบคู่ที่นำมาใช้นี้คือค่าเฉลี่ยของ root

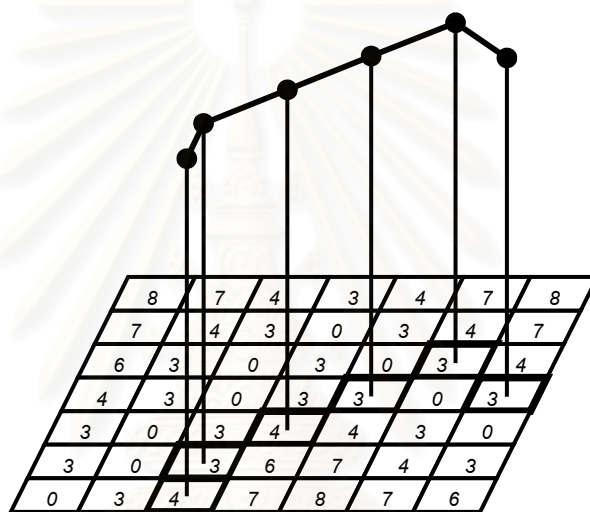
mean square (ค่าเฉลี่ย r.m.s) ของระยะทางแบบ 3-4 ค่าเฉลี่ยในที่นี้หมายถึงการหารด้วย 3 เนื่องจากการแปลงภาพระยะทางแบบ 3-4 ค่าที่ได้จากตัววัดการเปรียบเทียบนี้เรียกว่า ค่าระยะทางขอบของวัตถุในภาพ (Edge distance) ดังสมการที่ 2.8

$$Edge\ distance = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad \dots(2.8)$$

เมื่อ $Edge\ distance$ = ค่าระยะทางขอบของวัตถุในภาพ

v_i = ค่าระยะทางจากขอบของวัตถุในภาพที่ใกล้ที่สุด

n = จำนวนจุดทั้งหมดใน Polygon



รูปที่ 2.8 แสดงถึง Polygon วางทับลงบนภาพระยะทางเพื่อคำนวณหาค่าระยะทางขอบ

ค่าระยะทางขอบที่ได้นี้เป็นค่าที่วัดความคล้ายคลึงกันของขอบของวัตถุในภาพที่แสดงด้วย Polygon และภาพระยะทาง จากรูปที่ 2.8 สามารถคำนวณค่าระยะทางขอบที่หาได้ในที่นี้มีเท่ากับ

$$(1/3) \times \sqrt{(4^2 + 3^2 + 4^2 + 3^2 + 3^2 + 3^2)/6} = 1.12217$$

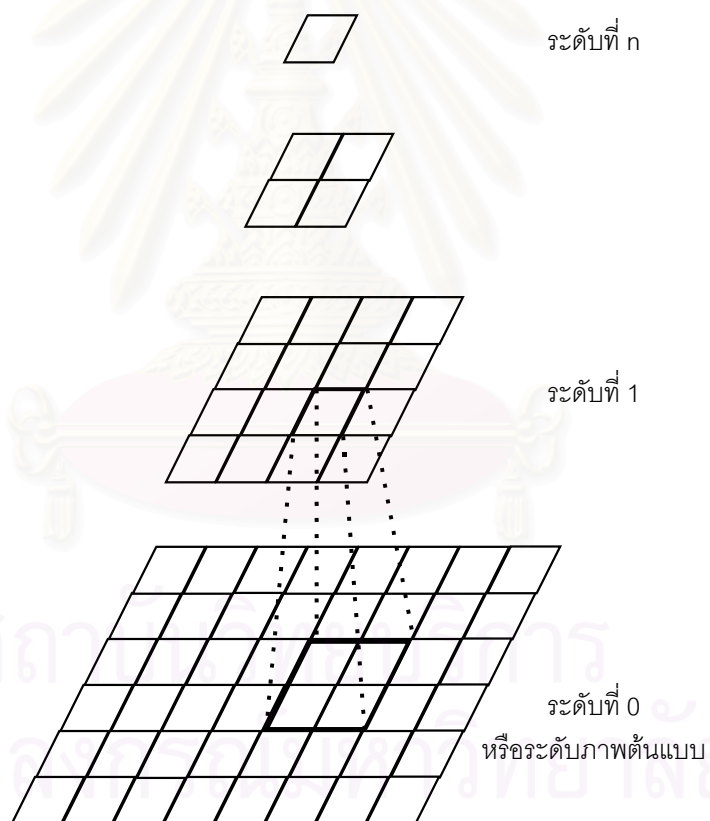
ถ้าขอบของวัตถุในภาพของทั้งสองภาพวางทับกันสนิท ค่าระยะทางขอบนี้จะเท่ากับ 0 แต่ในทางปฏิบัติ การเปรียบเทียบนี้จะเป็นการหาค่าระยะทางขอบที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งในตำแหน่งนั้นคือตำแหน่งที่ภาพทั้งสองซ้อนทับกันดีที่สุด (Optimal position)

2.4.3 พีระมิตความละเอียด (Resolution pyramid) ในการเปรียบเทียบแบบ Chamfer

ในขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เซึ่งลำดับขั้นนี้ได้นำเทคนิคของพีระมิตความละเอียดมาช่วยเพื่อให้การค้นหาคำตอบเร็วยิ่งขึ้น โดยมีหลักการคือเริ่มค้นหาตำแหน่งซ้อนทับกันจากภาพที่มีความ

ละเอียดต่ำและใช้ผลจากการเปรียบเทียบในระดับนี้เป็นตัวบ่งบอกตำแหน่งที่ต้องการค้นหาต่อไปในระดับที่ภาพมีความละเอียดสูงขึ้น โดยในภาพที่มีความละเอียดต่ำนั้น สัญญาณรบกวนและขอบภาพจำนวนมากจะถูกกำจัดออกไปทำให้มีการคำนวณน้อย ส่วนในภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น ข้อมูลภาพจะถูกต้องมากขึ้น แต่ก็อาจจะมีสัญญาณรบกวนและขอบภาพมากขึ้นทำให้มีการคำนวณมากซึ่งมีผลให้การประมวลผลโดยรวมใช้เวลาามาก

โดยทั่วไปพีระมิดความละเอียดนั้นถูกสร้างโดยการนำภาพต้นแบบมาเป็นภาพฐานของพีระมิดหรือภาพในระดับที่ 0 ของพีระมิดและภาพในระดับถัดไปหาได้โดยนำจุดภาพ 4 จุดมารวมกันเป็นจุดภาพ 1 จุดในระดับถัดขึ้นไป ถ้าเป็นภาพระดับเทา ค่าของจุดภาพที่ได้นี้จะเป็นค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 4 จุดข้างต้น (ซึ่งปกติจะใช้ค่ามัธยฐานหรือค่าเฉลี่ยก็ได้) กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปจนกระทั่งเหลือจุดภาพ 1 จุดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พีระมิดความละเอียด

ในขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับชั้น เนื่องจากภาพนำเข้าเป็นภาพลักษณะฐานสองที่แทนค่าขอบของวัตถุในภาพด้วย 0 หากทำการคำนวณค่าของจุดภาพโดยวิธีการเฉลี่ย ค่าที่ได้ อาจไม่เป็นจำนวนเต็ม สุดท้ายก็ต้องแปลงเป็นค่า 0 หรือ 1 เสมอ ดังนั้น Borgefors จึงใช้หลักการของ

ตรรกะออร์ (Logical OR) แทนคือ หากในภาพที่มีความละเอียดสูงกว่ามีจุดภาพใดจุดภาพหนึ่งจากทั้งหมด 4 จุดภาพที่จะถูกลดส่วนเป็นขอบของวัตถุในภาพแล้วจุดภาพในภาพที่มีความละเอียดต่ำกว่าจะต้องเป็นขอบของวัตถุในภาพด้วย ดังนั้นจึงเรียกพีระมิดที่ได้ว่าพีระมิดออร์ (OR-pyramid) วิธีการนี้ทำให้ความเป็นขอบของวัตถุในภาพยังคงอยู่ในทุก ๆ ระดับของพีระมิด ส่วนพีระมิดที่สร้างมาจากภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพนี้เรียกว่าพีระมิดของขอบของวัตถุในภาพ (Edge pyramid) ซึ่งโดยปกติภาพในพีระมิดที่มีความละเอียดต่ำที่สุดมักจะไม่ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบเพราะว่าภาพมีลักษณะหยาบเกินไปที่จะเก็บข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไว้

พีระมิดที่สร้างในขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer ซึ่งลำดับขั้นนี้ จึงแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1. พีระมิดของ Polygon (Polygon pyramid) เกิดจากการสร้างพีระมิดของขอบของวัตถุในภาพแล้วเก็บรายการของคู่ลำดับของตำแหน่งของขอบของวัตถุในภาพแต่ละระดับของพีระมิดไว้
2. พีระมิดของภาพระยะทาง (Distance pyramid) ทำการสร้างพีระมิดของขอบของวัตถุในภาพไว้ก่อนเช่นเดียวกับการสร้างพีระมิดของ Polygon จากนั้นนำการแปลงภาพแบบ 3-4 มาคำนวณกับภาพในแต่ละระดับขั้น ผลลัพธ์เป็นพีระมิดของภาพระยะทาง

2.4.4 เกณฑ์การคัดออก (Rejection criteria)

เมื่อคำนวณค่าตัววัดการเปรียบเทียบในทุก ๆ ตำแหน่งที่พิจารณาแล้ว จะใช้เกณฑ์การคัดออกกำจัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบในแต่ละระดับของพีระมิดโดยเริ่มต้นจากภาพที่มีความละเอียดต่ำก่อน ทำให้ตำแหน่งที่ต้องพิจารณาการเปรียบเทียบในระดับภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้นไปในพีระมิดมีจำนวนลดลง การคำนวณก็จะน้อยลงด้วย ทั้งนี้ผลจากขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer ซึ่งลำดับขั้นนี้จะมีหรือไม่มีขึ้นอยู่กับการคัดออกด้วย ตัวอย่างของเกณฑ์การคัดออกสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดเกณฑ์การคัดออกโดยพิจารณาจำนวนจุดใน Polygon กล่าวคือจำนวนจุดใน Polygon จากการแปลงภาพแต่ละครั้งอาจจะเหลือจำนวนน้อยมากหรือไม่เหลือเลย ซึ่งไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้ ดังนั้นหากกำหนดจำนวนจุดใน Polygon เป็นเกณฑ์การคัดออก การแปลงภาพครั้งใด ที่มีจำนวนจุดใน Polygon ในบริเวณที่ซ้อนทับกันน้อยกว่าที่กำหนด การแปลงภาพครั้งนั้นจะไม่นำมาพิจารณาต่อไป ดังนั้นจะสามารถลดจำนวนตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไปได้
2. กำหนดเกณฑ์การคัดออกโดยเปรียบเทียบกับค่าระยะทางขอบที่กำหนดไว้ ถ้าการแปลงภาพครั้งใดมีค่าระยะทางขอบมากเกินไปกว่าค่านี้ ก็จะกำจัดตำแหน่งนั้นออกไป

สรุปได้ว่า HCMA เป็นวิธีการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพ โดยจะหาตำแหน่งการแปลงภาพที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่าระยะทางขอบของวัตถุในภาพที่ได้จากการเฉลี่ยของ r.m.s ของระยะทางแบบ 3-4 น้อยที่สุด นอกจากนั้น HCMA ยังได้นำเทคนิคเรื่องพีระมิดความละเอียดมาช่วยเพื่อให้สามารถค้นหาตำแหน่งที่ดีที่สุด

สุดได้รวดเร็วยิ่งขึ้นโดยจะใช้เกณฑ์การคัดออกเป็นตัวกำจัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไปที่ระดับของพีระมิด

2.5 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา

กระบวนการนี้ใช้ในการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาก่อนการหาขอบของวัตถุในภาพ ภาพระดับเทา (Gray-scale image) ประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงถึงความสว่าง (Brightness) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยปราศจากข้อมูลสี ค่าของข้อมูลโดยทั่วไปมักประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ คือ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255

การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับเทาในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของโมเดลสี YIQ ซึ่งใช้องค์ประกอบ Y ที่แสดงถึงค่าความสว่าง ดังนั้นค่าระดับเทาที่ได้ในที่นี้จึงสามารถคำนวณจากการแปลงค่าสีในภาพจากโมเดลสี RGB เป็นค่า Y ในโมเดลสี YIQ นั่นเอง

การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.9 [7]

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad \dots(2.9)$$

เมื่อ $Gray$ = ค่าระดับเทาที่ได้จากการคำนวณในแต่ละจุดภาพ

R = ค่าสีแดง (Red) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้น

G = ค่าสีเขียว (Green) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้น

B = ค่าสีน้ำเงิน (Blue) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้น

2.6 การแปลงค่าสีในโมเดลสี RGB เป็นโมเดลสี HSV

เนื่องจากส่วนประกอบทั้งสามส่วนของโมเดลสี RGB นั้นไม่สามารถนำมาใช้อธิบายการรับรู้ของตามนุษย์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โมเดลสี HSV แทนโมเดลสี RGB เพราะส่วนประกอบทั้งสามส่วนของโมเดลสี HSV นั้นจะสามารถแยกการประมวลผลได้โดยอิสระ การแปลงค่าสีในโมเดลสี RGB ไปเป็นโมเดลสี HSV ทำได้ด้วยสมการที่ 2.10 ถึง 2.18 [9] ดังต่อไปนี้

$$r = \frac{R}{range(R)} \quad \dots(2.10)$$

$$g = \frac{G}{range(G)} \quad \dots(2.11)$$

$$b = \frac{B}{range(B)} \quad \dots(2.12)$$

$$v = \max(r, g, b) \quad \dots(2.13)$$

$$s = \frac{v - \min(r, g, b)}{v} \quad \dots(2.14)$$

และให้

$$r' = \frac{v - r}{v - \min(r, g, b)} \quad \dots(2.15)$$

$$g' = \frac{v - g}{v - \min(r, g, b)} \quad \dots(2.16)$$

$$b' = \frac{v - b}{v - \min(r, g, b)} \quad \dots(2.17)$$

จะได้

$$h = \begin{cases} 5 + b' , & \text{if } r = \max(r, g, b) \text{ and } g = \min(r, g, b) \\ 1 - g' , & \text{if } r = \max(r, g, b) \text{ and } g \neq \min(r, g, b) \\ 1 + r' , & \text{if } r = \max(r, g, b) \text{ and } b = \min(r, g, b) \\ 3 - b' , & \text{if } r = \max(r, g, b) \text{ and } b \neq \min(r, g, b) \\ 3 + g' , & \text{if } b = \max(r, g, b) \text{ and } r = \min(r, g, b) \\ 5 - r' , & \text{other} \end{cases} \quad \dots(2.18)$$

เมื่อ r = ค่าสีแดง (Red) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้นที่ได้จากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน

g = ค่าสีเขียว (Green) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้นที่ได้จากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน

b = ค่าสีน้ำเงิน (Blue) ในโมเดลสี RGB ของจุดภาพนั้นที่ได้จากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน

h = ค่ารงค์ (Hue) ที่แปลงได้จากสมการ

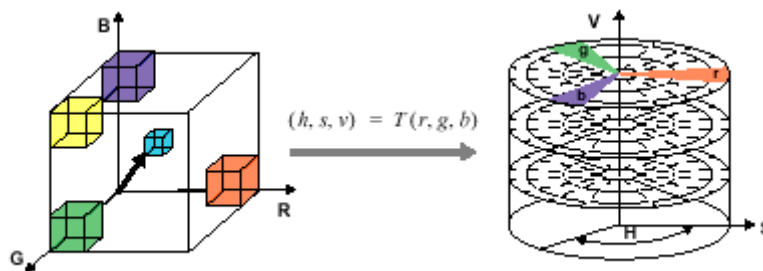
v = ค่าความเข้มแสง (Value) ที่แปลงได้จากสมการ

s = ค่าความอิ่มตัว (Saturation) ที่แปลงได้จากสมการ

2.7 การควอนไทซ์สี (Color quantization)

ในงานวิจัยนี้จะทำการควอนไทซ์สีเพื่อลดจำนวนสีที่ใช้พิจารณาในการเปรียบเทียบ โดยวิธีการควอนไทซ์สีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มาจากบทความที่มีชื่อว่า "Tools and techniques for color image retrieval" เสนอโดย John R. Smith และ Shih-Fu Chang ในปี ค.ศ. 1996 [9] การควอนไทซ์สีในที่นี้ทำในโมเดลสี HSV โดยลดจำนวนสีให้เหลือเพียง 166 สี ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 2.10

การควอนไทซ์สีในงานวิจัยนี้จะแบ่งส่วนของค่ารงค์เป็น 18 ระดับ โดยแบ่งเป็นช่วงสีละ 20 องศา ส่วนของค่าความอิ่มตัวสีแบ่งเป็น 3 ระดับ และส่วนของค่าความเข้มแสงแบ่งเป็น 3 ระดับ และแบ่งค่าระดับเทาอีก 4 ค่า คือแบ่งค่าความเข้มแสงเป็น 4 ระดับ ในขณะที่ไม่กำหนดค่ารงค์และค่าความอิ่มตัวสีเท่ากับ 0 ดังนั้นจึงรวมทั้งหมดเป็น 166 สี จากนั้นจึงกำหนดดัชนีของค่าสีที่แบ่งไว้



รูปที่ 2.10 แสดงถึงการแปลงค่าสีจากโมเดลสี RGB ไปเป็นโมเดลสี HSV [9]

จากนั้นใช้ตัวกรองมัลติฐานขนาด 5×5 เพื่อทำภาพให้หยาบขึ้นและลดจำนวนสัญญาณรบกวนออกไป วิธีการคือค่าสีในแต่ละจุดภาพจะถูกแทนด้วยค่ากลางของค่าสีที่จุดภาพเพื่อนบ้านแทนการใช้ค่าเฉลี่ย โดยค่ากลางที่ใช้จะเป็นค่ากลางของค่าสีในโมเดล HSV ในแต่ละแกนของค่า H, S และ V

2.8 ตัววัดการเปรียบเทียบคู่สี (Color matching measure)

ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบสีในบริเวณที่ซ้อนทับกัน ดังนั้นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่นำมาใช้คือ ตัววัดการเปรียบเทียบคู่สี โดยในที่นี้จะกล่าวถึงตัววัดการเปรียบเทียบคู่ทางด้านสีที่เรียกว่า ฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน (Histogram intersection) ที่มีการเสนอในบทความที่มีชื่อว่า "Indexing via color histogram" โดย Michael J. Swain และ Dana H. Ballard ในปี ค.ศ. 1990 [10] ซึ่งใช้ในการทำดัชนีภาพสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยจะให้เปรียบเทียบภาพในฐานข้อมูลและภาพจำลองที่มีอยู่ หลักการที่สำคัญของฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันคือ ใช้ฮิสโทแกรมของสีเข้ามาช่วยในการเปรียบเทียบคู่โดยวัดการซ้อนทับกันของฮิสโทแกรมสี กล่าวคือพิจารณาว่าฮิสโทแกรมของภาพจำลองเป็นส่วนหนึ่งของฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูลมากน้อยเพียงใด ถ้าซ้อนทับกันมากก็แสดงว่ามีความเป็นไปได้สูงที่ภาพจำลองนั้นเป็นส่วนหนึ่งของภาพในฐานข้อมูลนั้นมาก ตัวอย่างของการอินเตอร์เซกชันกันของฮิสโทแกรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11

การเปรียบเทียบฮิสโทแกรมของสีของภาพจำลองกับฮิสโทแกรมของสีในภาพในฐานข้อมูลสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.19

$$H' = \sum_{j=1}^n \min(I_j, M_j) \quad \dots(2.19)$$

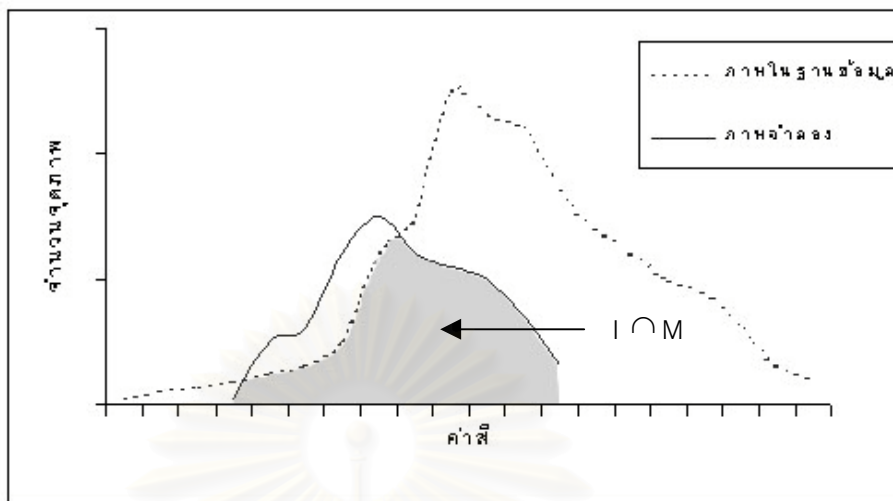
เมื่อ H' = อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม

I = ฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูล

M = ฮิสโทแกรมของภาพจำลอง

n = จำนวนสีในฮิสโทแกรม

j = ช่วงของแต่ละสีในฮิสโทแกรม



รูปที่ 2.11 แสดงการอินเตอร์เซกกันของฮิสโทแกรม

ผลลัพธ์ของการอินเตอร์เซกกันของฮิสโทแกรมของภาพจำลองและภาพในฐานข้อมูลหมายถึงจำนวนจุดภาพจากภาพจำลองที่มีค่าสีเหมือนกันในฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูล และหากต้องการทำค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมค่าอื่นที่ได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.20 โดยค่าที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

$$H(I, M) = \frac{H'}{\sum_{j=1}^n M_j} \quad \dots(2.20)$$

เมื่อ $H(I, M)$ = ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบคู่โดยฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์เทคนิคของฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันมาใช้ในการจัดเรียงภาพ โดยใช้วัดความเหมือนกันของฮิสโทแกรมของบริเวณที่ซ้อนทับกันของภาพนำเข้า ทั้งนี้เพราะเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบความเหมือนกันของค่าสีและง่ายในการนำไปปฏิบัติอีกด้วย

บทที่ 3

การออกแบบกระบวนการทำโมเสกภาพ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำโมเสกภาพจากภาพแนวระนาบขนาดเล็กหลาย ๆ ภาพ ซึ่งเน้นถึงกระบวนการจัดเรียงภาพโดยอัตโนมัติเท่านั้น ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอรายละเอียดของงานวิจัย เริ่มต้นจากข้อกำหนดโดยทั่วไปของกระบวนการทำโมเสกภาพในงานวิจัยนี้ หลักการเบื้องต้นของการทำโมเสกภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงวิธีการทำภาพโมเสกจากภาพมากกว่าสองภาพ ในส่วนต่อไปนำเสนอปัจจัยที่สำคัญในการจัดเรียงภาพโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการจัดเรียงภาพ จากนั้นจึงอธิบายถึงขั้นตอนวิธีการทำภาพโมเสกโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ การนำสีเข้ามาประยุกต์กับการใช้ขอบของวัตถุในการทำโมเสกภาพ การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีทั้งสอง และสุดท้ายเป็นการสรุปวิธีการทำโมเสกภาพที่ออกแบบไว้

3.1 ข้อกำหนดของกระบวนการทำโมเสกภาพ

งานวิจัยนี้เป็นการเชื่อมภาพขนาดเล็กหลาย ๆ ภาพเข้าด้วยกัน ดังนั้นภาพนำเข้าจึงต้องเป็นชุดของภาพโดยภาพเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากันซึ่งสามารถนำเข้าได้สองทาง คือจากการรับข้อมูลจากสแกนเนอร์ด้วยพารามิเตอร์ในการสแกนเป็นแบบเดียวกัน และจากการถ่ายภาพแนวระนาบโดยกล้องดิจิทัล กล่าวคือ เป็นการถ่ายภาพจากแนวระนาบ โดยเลื่อนกล้องขนานไปกับฉากที่ต้องการ นอก จากนั้นภาพที่เข้ามาทำโมเสกต้องเข้ามาเป็นลำดับ คือภาพในลำดับหลังต้องมีพื้นที่ซ้อนทับกับภาพในลำดับก่อนหน้า สุดท้ายคือการแปลงภาพในงานวิจัยนี้จะจำกัดเฉพาะการแปลงภาพแบบเลื่อนเท่านั้น ไม่รวมถึงการแปลงภาพแบบหมุน ตัวอย่างของภาพนำเข้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

3.2 หลักการเบื้องต้นของการทำโมเสกภาพ

หลักการเบื้องต้นการทำโมเสกภาพในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีในการทำโมเสกภาพจากภาพเล็กจำนวนมากกว่าสองภาพเข้าด้วยกัน โดยเริ่มต้นจากการเชื่อมภาพในสองลำดับแรกก่อน ซึ่งกำหนดให้ภาพแรกเป็นภาพอ้างอิงหลัก จากนั้นทำการจัดเรียงภาพและรวมภาพในตำแหน่งที่ดีที่สุดแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเป็นภาพอ้างอิงหลักในการเชื่อมภาพครั้งต่อไป จากนั้นนำภาพในลำดับต่อไปมาเชื่อมกับภาพผลลัพธ์นั้น

ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งภาพทั้งหมดได้รวมเข้าด้วยกันแล้ว หลักการเบื้องต้นในการทำโมเสกภาพนี้สามารถแสดงได้ดังรูป 3.2



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

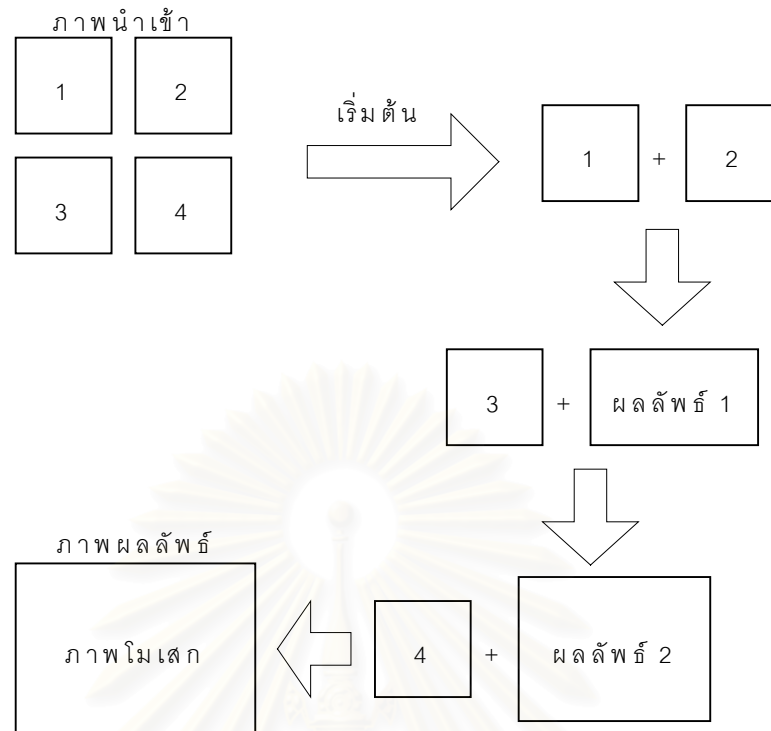


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพนำเข้าจากสแกนเนอร์
รูป (ก) ถึง (ฉ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 หลักการในการทำโมเสกภาพ

3.3 ปัจจัยที่สำคัญในการจัดเรียงภาพแบบอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้ได้เน้นถึงขั้นตอนในการจัดเรียงภาพเนื่องจากคุณภาพของภาพโมเสกที่ได้นั้นเป็นผลจากกระบวนการนี้โดยตรง กล่าวคือ หากตำแหน่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้เป็นตำแหน่งที่ถูกต้องหรือมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย จะทำให้ภาพโมเสกที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ในโปรแกรมประยุกต์การทำโมเสกภาพส่วนมากต้องการให้มีผู้ชี้แนะโดยการกำหนดจุดควบคุม (Control point) เพื่อเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการจัดเรียงภาพหรือกำหนดตำแหน่งของภาพขนาดเล็กในภาพโมเสกที่ต้องการสร้าง แต่ในงานวิจัยนี้การจัดเรียงภาพจะเป็นแบบอัตโนมัติ

การจัดเรียงภาพแบบอัตโนมัติในงานวิจัยนี้ จะหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองภาพโดยเปรียบเทียบบริเวณที่ซ้อนทับกัน ในการเปรียบเทียบนี้จะใช้ตัววัดการเปรียบเทียบมาช่วยพิจารณาความคล้ายคลึงบริเวณที่ซ้อนทับกัน สุดท้ายจะส่งผลให้สามารถหาการแปลงภาพที่ดีที่สุดในการเชื่อมภาพได้

ปัจจัยในการจัดเรียงภาพแบบอัตโนมัตินี้ ส่วนที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงมี 4 ส่วนซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังต่อไปนี้

ขอบเขตของลักษณะเด่น (Feature space)

ขอบเขตของลักษณะเด่นเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดภายในภาพที่ใช้ในการเปรียบเทียบภาพ ลักษณะเด่นภายในภาพที่ใช้นี้อาจเป็นข้อมูลดิบในจุดภาพนั้น เช่นค่าความเข้มแสง (Intensity) และสี (Color) หรืออาจเป็นลักษณะเด่นอื่น ๆ เช่น ขอบของวัตถุในภาพ (Edge) เส้นแสดงรูปร่าง (Contour) พื้นผิว (Surface) เส้นที่ตัดกันภายในภาพ (Line intersection) หรือข้อมูลทางสถิติภายในภาพ เป็นต้น ขั้นตอนในการเลือกขอบเขตของลักษณะเด่นเป็นขั้นตอนแรกที่ทำก่อนขั้นตอนอื่น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ **สี และขอบของวัตถุในภาพ** เป็นลักษณะเด่น เพราะสามารถหาได้ง่ายและทำการประมวลผลได้ไม่ยุ่งยาก

ขอบเขตของการค้นหา (Search space)

ขอบเขตของการค้นหาเป็นการแปลงภาพที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ เช่นถ้าสันนิษฐานว่าภาพสองภาพนี้จะสามารถหาตำแหน่งที่สัมพันธ์กันได้ด้วยการแปลงภาพแบบเลื่อน (Translation transformation) ดังนั้นขอบเขตของการค้นหาก็คือเซตของการเลื่อนภาพที่เป็นไปได้ทั้งหมดบนขอบเขตของการเลื่อนที่กำหนด

ขอบเขตของการค้นหาในงานวิจัยนี้ **จำกัดอยู่เฉพาะการเลื่อนภาพเท่านั้น** โดยในการแปลงภาพจะมีภาพหนึ่งเป็นภาพอ้างอิงหลักและภาพที่สองจะถูกเลื่อนไปบนภาพอ้างอิงหลักในทุกทิศทาง ซึ่งสามารถแสดงได้สมการที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

$$\left. \begin{aligned} X &= t_x + x \\ Y &= t_y + y \end{aligned} \right\} \dots(3.1)$$

เมื่อ X และ Y = ตำแหน่งบนภาพลำดับที่สอง

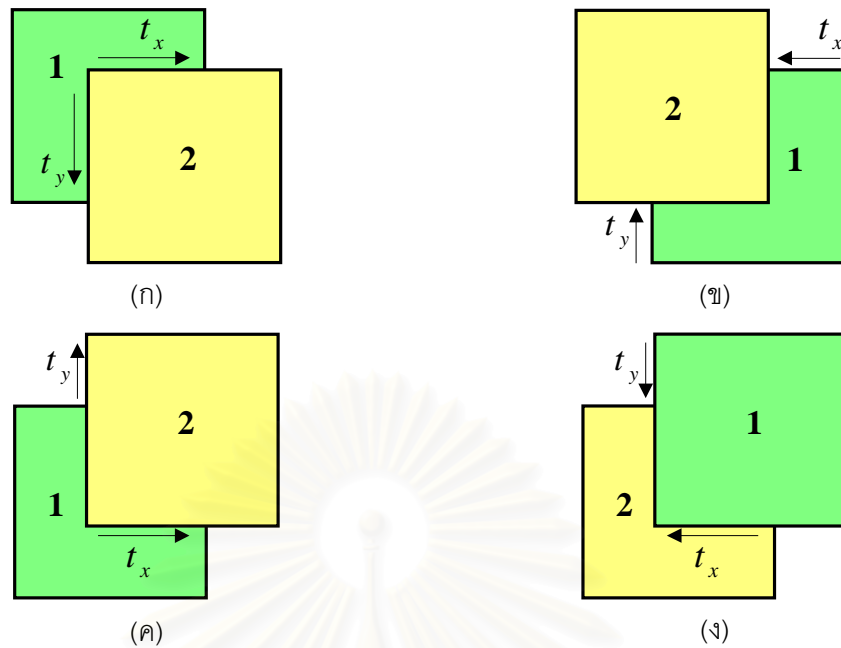
x และ y = ตำแหน่งของภาพลำดับแรก

t_x และ t_y = พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนในแกน X และแกน Y

พารามิเตอร์ในสมการนี้สามารถแบ่งเป็น 4 กรณีด้วยกัน ซึ่งลักษณะการซ้อนทับกันของภาพทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยภาพหมายเลข 1 หมายถึงภาพนำเข้าลำดับแรก และภาพหมายเลข 2 หมายถึงภาพนำเข้าลำดับที่สอง

กลยุทธ์ในการค้นหา (Search strategy)

กลยุทธ์ในการค้นหาเป็นส่วนที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะค้นหาการแปลงภาพจากขอบเขตของการค้นหาที่กำหนดอย่างไรเพื่อให้ได้การแปลงภาพที่ดีที่สุดในการทำโมเสกภาพ กลยุทธ์ในการค้นหาที่ดีจะเป็นตัวสำคัญที่ช่วยให้การจัดเรียงภาพนั้นเร็วขึ้น



รูปที่ 3.3 ลักษณะการทับกันของภาพสองภาพ

- ก) ค่า t_x และ t_y เป็นบวกทั้งคู่ ข) ค่า t_x และ t_y เป็นลบทั้งคู่
 ค) ค่า t_x เป็นบวก และ t_y เป็นลบ ง) ค่า t_x เป็นลบ และ t_y เป็นบวก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคของพีระมิดความละเอียด (Resolution pyramid) หรือการใช้ภาพที่มีความละเอียดหลายระดับ (Multiresolution) เข้ามาช่วยในการค้นหา ดังกล่าวถึงในหัวข้อ 2.4.3 และได้จำกัดความละเอียดต่ำที่สุดโดยปริยายไว้ไม่เกิน 16×16 จุดภาพ การค้นหาโดยใช้เทคนิคนี้มีการกำหนดเกณฑ์การคัดออกเพื่อใช้ในการกำจัดตำแหน่งที่ไม่ต้องการในแต่ละระดับของพีระมิดอีกด้วย โดยเกณฑ์การคัดออกในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าที่ได้จากตัววัดการเปรียบคู่ของแต่ละระดับในพีระมิด ดังนั้นค่านี้จึงเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละรูป ซึ่งการกำหนดเกณฑ์การคัดออกนี้มีผลอย่างมากต่อการค้นหาการแปลงภาพที่ดีที่สุด

ตัววัดความคล้ายกัน (Similarity measure)

ตัววัดความคล้ายกันเป็นส่วนที่ใช้ประเมินความคล้ายกันของลักษณะเด่นภายในบริเวณที่ซ้อนทับกันของภาพทั้งสองในการแปลงภาพแต่ละแบบ ในงานวิจัยนี้ตัววัดความคล้ายกันที่ใช้เป็นการประยุกต์จากการเปรียบคู่ดังนั้นจึงเรียกว่าตัววัดการเปรียบคู่แทน โดยตัววัดการเปรียบคู่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้วัดความคล้ายกันของขอบของวัตถุในภาพด้วยค่าเฉลี่ยของระยะทางขอบและวัดความคล้ายกันของสีด้วยฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน ดังสมการที่ 2.8 และ 2.20 ตามลำดับ

3.4 การทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งเป็นการประยุกต์บทความเรื่องการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพชื่อว่า “Hierarchical chamfer matching: A parametric edge matching algorithm” โดย Gunilla Borgefors [8] ซึ่งได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 2.4 ในบทความนี้ นำขอบของวัตถุในภาพมาใช้ในการวัดความคล้ายคลึงกันของภาพสองภาพ และบทความนี้ยังได้นำเทคนิคของพีระมิตความละเอียดเข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มความเร็วในการค้นหาบริเวณที่ซ้อนทับกันอีกด้วย

ในขั้นตอนการจัดเรียงภาพที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเป็นการเน้นการเชื่อมภาพในสองลำดับแรกก่อน และจึงนำภาพในลำดับต่อไปเข้ามาเชื่อมกับภาพผลลัพธ์ดังที่กล่าวไว้ในเรื่องหลักการทำภาพโมเสกในหัวข้อ 3.1 ส่วนในการจัดเรียงภาพสองภาพนี้จะเริ่มต้นในภาพที่มีความละเอียดต่ำก่อน โดยจะวัดความคล้ายกันในทุก ๆ การแปลงภาพที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นใช้เกณฑ์การคัดออกเพื่อตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไปและจัดเรียงภาพในระดับที่มีความละเอียดสูงขึ้นจนกระทั่งถึงระดับภาพต้นฉบับ สุดท้าย การแปลงภาพใดที่มีความคล้ายกันของขอบของวัตถุในภาพมากที่สุด ตำแหน่งนั้นถือได้ว่าเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดในการเชื่อมภาพเข้าด้วยกัน

สำหรับขั้นตอนการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอเรียกว่า **“วิธีการขอบ”** สามารถแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ด้วยกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูป 3.4 ดังต่อไปนี้

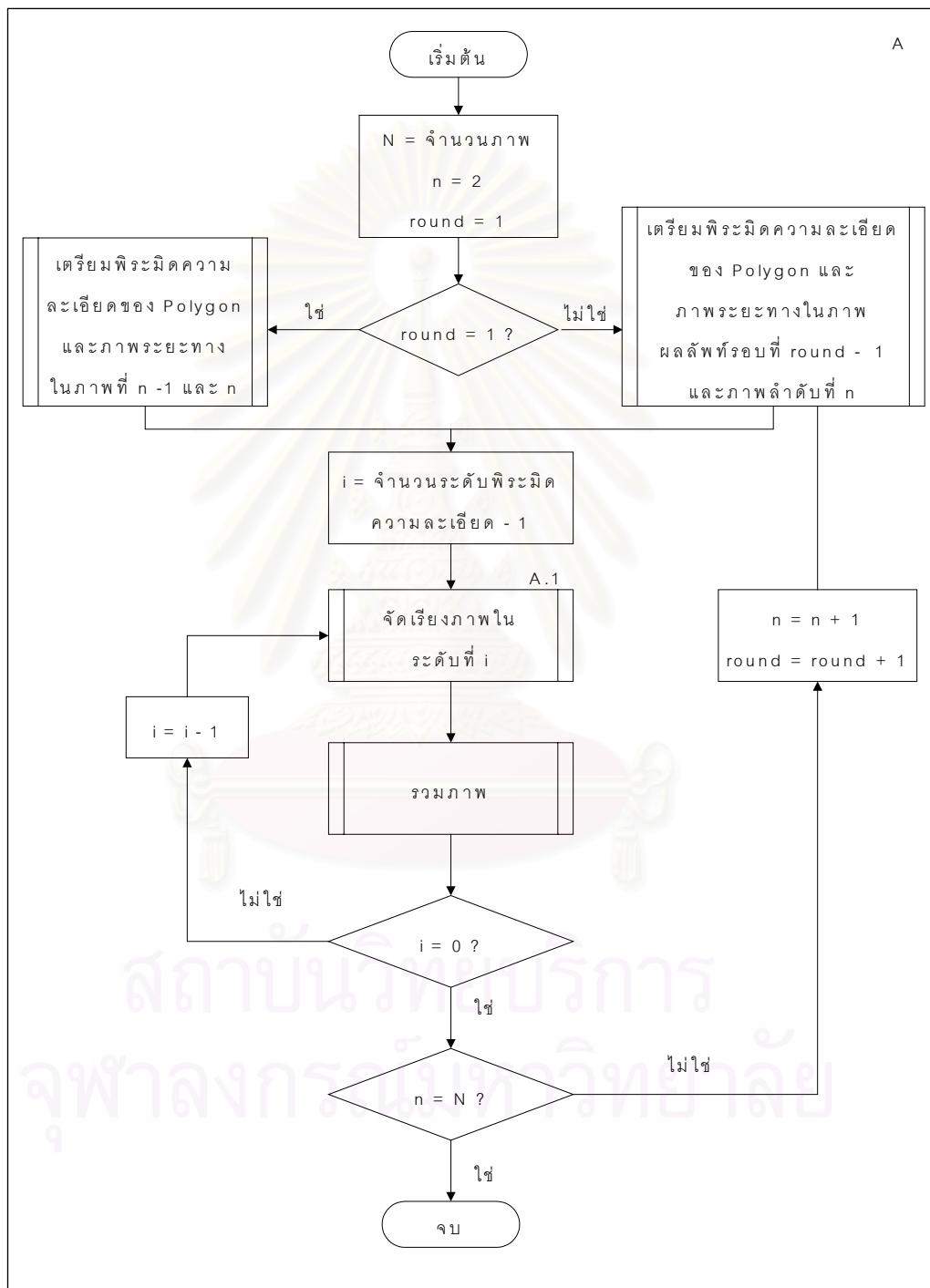
- ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพีระมิตความละเอียดของ Polygon และของภาพระยะทาง
- ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต
- ขั้นตอนที่ 3 การรวมภาพ
- ขั้นตอนที่ 4 การเชื่อมภาพมากกว่า 2 ภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพีระมิตความละเอียดของภาพ Polygon และภาพระยะทาง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกในการทำโมเสกภาพ โดยจะเตรียมพีระมิตความละเอียดเพื่อใช้ในกระบวนการจัดเรียงภาพ พีระมิตความละเอียดที่สร้างในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 พีระมิต คือ พีระมิตของภาพ Polygon และพีระมิตของภาพระยะทาง ซึ่งในรอบแรกนั้นจะสร้างจากภาพนำเข้าไปในสองลำดับแรก ส่วนในรอบต่อไปจะสร้างจากภาพผลลัพธ์จากรอบที่แล้วและภาพนำเข้าไปในลำดับต่อมา รายละเอียดของการสร้างพีระมิตของภาพ Polygon และพีระมิตของภาพระยะทางได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 2.4

การเลือกว่าควรจะนำภาพใดมาสร้างเป็นพีระมิตของภาพ Polygon หรือเป็นพีระมิตของระยะทาง ในขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบแบบ Chamfer เชิงลำดับขั้นนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการประยุกต์ใช้งาน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกภาพในลำดับแรกเป็นภาพ Polygon และภาพในลำดับสองเป็นภาพระยะทาง เนื่องจากเมื่อรวมภาพมากกว่าสองภาพแล้ว ภาพในลำดับต่อมาจะถูกนำไปรวมกับภาพผลลัพธ์ที่ได้ เสมือนว่าภาพผล -

ลัฟท์นั้นเป็นภาพนำเข้าไปในลำดับแรก แต่เนื่องจากภาพผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละครั้งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ และการสร้างภาพระยะทางจะใช้เวลานานกว่าการสร้างภาพ Polygon ของภาพที่มีขนาดเท่ากัน ดังนั้นหากกำหนดให้ภาพผลลัพธ์หรือภาพที่เข้ามาเป็นลำดับก่อนหน้าเป็นภาพ Polygon ก็จะทำให้การประมวลผลเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำโมเสกภาพ

เนื่องจากภาพนำเข้าในงานวิจัยนี้เป็นภาพสี ดังนั้นจึงเริ่มต้นจากการนำภาพทั้งสองมาหาขอบของวัตถุในภาพ โดยแปลงเป็นภาพระดับเทาด้วยโมเดลสี YIQ ซึ่งกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 และนำภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการหาขอบของวัตถุในภาพภาพด้วยวิธี Sobel ในหัวข้อที่ 2.3 จากนั้นทำเป็นภาพลักษณะพื้นฐานสองโดยใช้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 128 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงขอบของวัตถุในภาพจำนวนสองภาพ นำภาพแรกไปสร้างพีระมิดของภาพ Polygon และนำภาพที่ 2 ไปสร้างพีระมิดของภาพระยะทาง สำหรับพีระมิดความละเอียดในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระดับความละเอียดที่ต่ำที่สุดไว้ไม่ต่ำกว่า 16×16 จุดภาพ โดยระดับที่ 0 ของพีระมิดที่ได้นี้ หมายถึงระดับของภาพต้นฉบับ และระดับที่ i เป็นระดับของภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุด สามารถแสดงโครงสร้างข้อมูลของพีระมิดได้ดังตารางที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

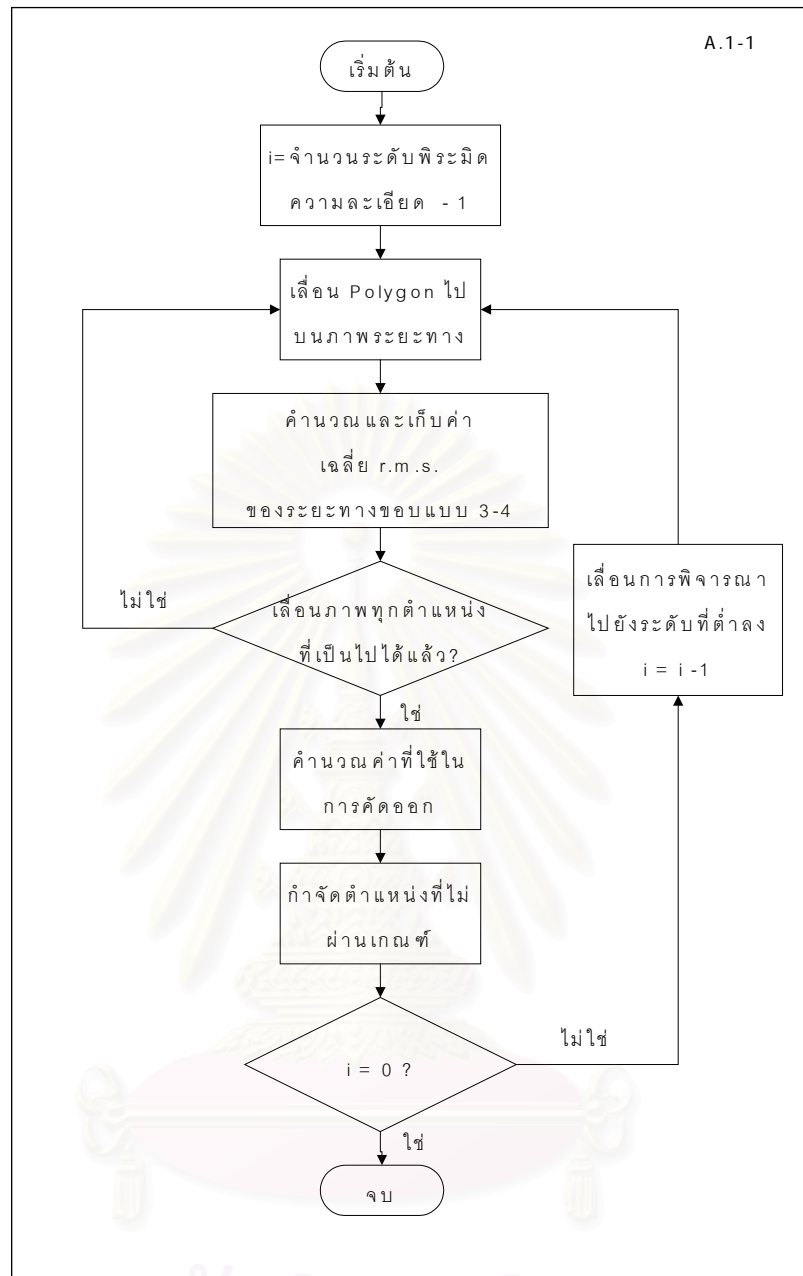
ตารางที่ 3.1 โครงสร้างข้อมูลของพีระมิดในการทำภาพโมเสกโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

ระดับที่	พีระมิดของภาพ Polygon (ภาพลำดับแรก)	พีระมิดของภาพระยะทาง (ภาพลำดับที่2)
i	คู่ลำดับของ Polygon	ภาพระยะทาง
$i - 1$	คู่ลำดับของ Polygon	ภาพระยะทาง
.	คู่ลำดับของ Polygon	ภาพระยะทาง
0 (ภาพต้นฉบับ)	คู่ลำดับของ Polygon	ภาพระยะทาง

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด

หลังจากเตรียมพีระมิดของภาพ Polygon และพีระมิดของภาพระยะทางเรียบร้อยแล้ว กระบวนการต่อไปคือการจัดเรียงภาพซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพได้ดังรูป 3.5

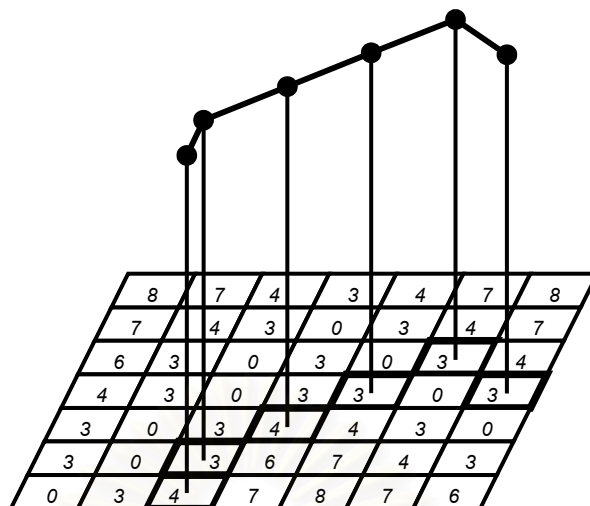
กระบวนการเริ่มทำกับภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดคือในระดับ i ก่อน ซึ่งผลจากการพิจารณาตำแหน่งการจัดเรียงในระดับนี้จะเป็นตัวชี้แนะตำแหน่งที่ต้องพิจารณาสำหรับการจัดเรียงในระดับที่สูงขึ้น การจัดเรียงภาพในระดับความละเอียดที่ต่ำที่สุดนี้ทำโดยเลื่อน Polygon มาวางทับลงบนภาพของพีระมิดของภาพระยะทาง ดังในรูป 3.6 ส่วนสมการในการเลื่อนภาพเป็นดังสมการที่ 3.1 โดยเลื่อนภาพในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ และในการเลื่อน Polygon แต่ละครั้ง จะเปรียบเทียบขอบโดยวัดความตรงกันของขอบของวัตถุในภาพในบริเวณที่ซ้อนทับกันด้วยค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในสมการที่ 3.6 การคำนวณค่านี้พิจารณาเฉพาะตำแหน่งของคู่ลำดับใน Polygon และตำแหน่งของจุดภาพในภาพของพีระมิดภาพระยะทางที่ตรงกับคู่ลำดับใน Polygon



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

การคำนวณค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในระดับภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดนี้ จะทำกับทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการเลื่อนภาพ และเก็บค่าที่คำนวณได้ไว้เพื่อพิจารณาตัดตำแหน่งที่ไม่ควรนำไปพิจารณาต่อในระดับถัดไปออก โดยจะกำหนดเกณฑ์การคัดออกดังสมการที่ 3.2

$$\text{rejection value} = \min + \left(\max \times \frac{\text{percent}}{100} \right) \quad \dots(3.2)$$



รูปที่ 3.6 แสดงถึง Polygon วางทับลงบนภาพระยะทาง
เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4

- เมื่อ *rejection value* = ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดตำแหน่งที่ไม่ควรนำไปพิจารณาต่อในระดับถัดไป
- min* = ค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่ต่ำที่สุดที่ไม่เท่ากับ 0 ในระดับที่กำลังพิจารณา
- max* = ค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่สูงที่สุดในระดับที่กำลังพิจารณา
- percent* = ค่าเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

วิธีการคำนวณด้วยเกณฑ์การตัดออกในสมการที่ 3.2 นี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดตำแหน่งที่ไม่น่าเป็นไปได้ ออกไว้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง เพราะค่าขีดแบ่งจากการคำนวณจะเปลี่ยนไปตามภาพที่กำลังพิจารณาและตามเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น โดยค่าที่ได้จากสมการนี้เป็นค่าขีดแบ่งที่คำนวณจากค่าเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่ได้จากตัววัดค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในแต่ละระดับ เมื่อคำนวณค่าขีดแบ่งแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง หากค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 มากกว่าค่าขีดแบ่งที่คำนวณได้นี้ ตำแหน่งนั้นจะไม่ถูกนำไปพิจารณาในการจัดเรียงภาพต่อไปในภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น และตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 จากตัววัดต่ำกว่าค่าขีดแบ่งนี้เท่านั้นที่จะถูกพิจารณาในระดับถัดไปของพีระมิด ดังนั้นเมื่อใช้เกณฑ์การตัดออกตำแหน่งที่นำไปใช้ในการจัดเรียงภาพในระดับภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้นจึงมีจำนวนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้เกณฑ์การตัดออก

นอกจากเกณฑ์การตัดออกในสมการที่ 3.2 แล้ว ยังมีกำหนดเกณฑ์การตัดออกอีกอย่างหนึ่งคือกำหนดค่าตัดออกของจำนวนจุดใน Polygon ในบริเวณที่ซ้อนทับกัน หากตำแหน่งการเลื้อยภาพนั้นมีจำนวนจุดใน Polygon ที่ใช้น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้จะไม่นำตำแหน่งนั้นมาพิจารณาอีก

ในการจัดเรียงภาพในระดับภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น ตำแหน่งที่ผ่านเกณฑ์การคัดออกนั้นจะขยายเป็น 4 ตำแหน่งเนื่องจากหลักการของพีระมิดความละเอียด จากนั้นจึงวัดค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 เช่นเดียวกับภาพพีระมิดในระดับที่ผ่านมา กระบวนการนี้จะทำซ้ำในทุกระดับชั้นของพีระมิด ตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ต่ำที่สุดในภาพระดับ 0 หรือระดับภาพต้นฉบับ คือตำแหน่งที่ภาพทั้งสองจัดเรียงได้ดีที่สุดจากการเปรียบคู่ขอบโดยวิธี HCMA นี้

ขั้นตอนที่ 3 การรวมภาพ

ภาพผลลัพธ์จากการรวมภาพสามารถสร้างได้จากการวางภาพซ้อนทับกันในตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในระดับภาพต้นฉบับที่น้อยที่สุด โดยในบริเวณที่ซ้อนทับกันนั้นค่าสีจะได้จากการเฉลี่ยค่าสีของจุดภาพที่ซ้อนทับกันทีละคู่ในแต่ละแกนในโมเดลสี HSV

ขั้นตอนที่ 4 การเชื่อมภาพมากกว่า 2 ภาพ

หากมีภาพนำเข้ามามากกว่า 2 ภาพ เมื่อเชื่อมภาพในลำดับก่อนหน้าแล้ว จะเชื่อมภาพในลำดับต่อมาเข้ากับภาพผลลัพธ์ โดยทำขั้นตอนซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งภาพทั้งหมดรวมเข้าด้วยกัน

3.5 การทำโมเสกภาพโดยนำสีเข้ามาประยุกต์กับขอบของวัตถุในภาพ

ในการหัวข้อที่ 3.4 เป็นการทำให้โมเสกภาพโดยขั้นตอนในการจัดเรียงภาพนั้นใช้ลักษณะเด่นทางขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำสีเข้ามาประยุกต์กับขั้นตอนการจัดเรียงภาพในหัวข้อ 3.4 ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอเรียกว่า **"วิธีการสีและขอบ"** โดยโมเดลสีที่นำมาใช้ในที่นี้เป็นโมเดลสี HSV และตัววัดความคล้ายกันของค่าสีคือ ฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน หลักการที่สำคัญในการจัดเรียงในหัวข้อนี้คือหาการแปลงภาพที่น่าจะเป็นไปได้ด้วยลักษณะเด่นด้านสีเพื่อให้การจัดเรียงภาพเร็วขึ้นและมีความถูกต้องมากขึ้น โดยจะหาการแปลงภาพอย่างคร่าว ๆ ในภาพที่มีความละเอียดต่ำก่อน โดยมีสมมติฐานว่าบริเวณที่ซ้อนทับกันของทั้งสองภาพที่มีสีคล้ายคลึงกันน่าจะเป็นตำแหน่งที่มีการแปลงภาพดีที่สุดในการทำโมเสกภาพ ในการทำโมเสกภาพวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบบริเวณสีในภาพต้นฉบับของตำแหน่งที่เป็นขอบของวัตถุในภาพในพีระมิดของภาพ Polygon ในภาพที่มีความละเอียดระดับต่ำ เพื่อคัดบริเวณที่สีไม่คล้ายกันออกก่อนแล้วจึงวัดความคล้ายคลึงกันด้วยลักษณะเด่นด้านขอบของวัตถุในภาพในระดับภาพต้นฉบับ

สำหรับขั้นตอนการทำโมเสกภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอเรียกว่า **"วิธีการสีและขอบ"** สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพีระมิตความละเอียด

พีระมิตความละเอียดที่สร้างในการทำโมเสกภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพนี้แบ่งเป็น 2 พีระมิตเช่นเดียวกับวิธีที่ทำโมเสกโดยขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว คือ ทำภาพลำดับแรกเป็นพีระมิตของภาพ Polygon และ ภาพลำดับที่สองพีระมิตของภาพระยะทาง แต่มีความแตกต่างกันที่พีระมิตของภาพระยะทางนั้นทำในระดับภาพต้นฉบับหรือภาพในระดับ 0 เพียงระดับเดียว เนื่องจากวิธีนี้ไม่ใช่ภาพในระดับอื่นในการเปรียบคู่ขอบของวัตถุในภาพ นอกจากนั้นจะเก็บภาพต้นฉบับที่ควอนไทซ์ในโมเดลสี HSV ไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบคู่สี รายละเอียดการควอนไทซ์สีและตัวกรองมัธยฐานได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.7 และตารางที่ 3.2 แสดงโครงสร้างพีระมิตที่ใช้ในวิธีนี้

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างข้อมูลของพีระมิตในการทำภาพโมเสกโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ

ระดับที่	พีระมิตของภาพ Polygon (ภาพลำดับแรก)	พีระมิตของภาพระยะทาง (ภาพลำดับที่ 2)
I	คู่ลำดับของ Polygon	-
$i - 1$	คู่ลำดับของ Polygon	-
.	คู่ลำดับของ Polygon	-
0 (ภาพต้นฉบับ)	คู่ลำดับของ Polygon, ภาพสีที่ควอนไทซ์แล้ว	ภาพระยะทาง, ภาพสีที่ควอนไทซ์แล้ว

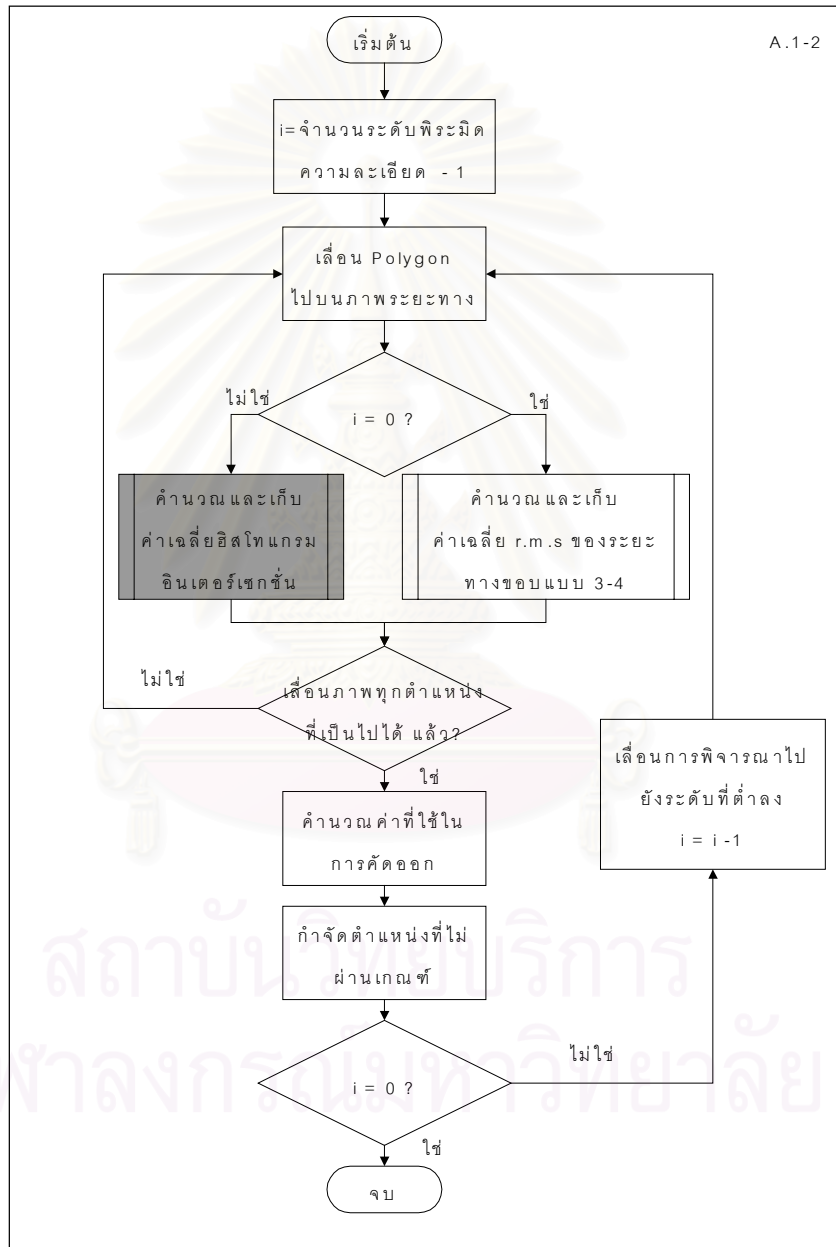
ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต

หลังจากเตรียมพีระมิตเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการจัดเรียงจะคล้ายกับการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ ในรูปที่ 3.7 จะอธิบายขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยนำสีเข้ามาประยุกต์ซึ่งแตกต่างจากการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบที่ใช้กระบวนการคำนวณค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันแทนค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในภาพที่มีความละเอียดต่ำในพีระมิต

กระบวนการเริ่มในภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดก่อนและทำเช่นเดียวกับในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ คือเลื่อน Polygon มาวางทับลงบนภาพระยะทางในทุกทิศทางที่เป็นไปได้ แต่ในการเลื่อน Polygon แต่ละครั้งจะคำนวณค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันแทนค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4

ในการคำนวณค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันนี้ จะคำนวณจากฮิสโทแกรมสีจากระดับภาพต้นฉบับเฉพาะในตำแหน่งคู่ลำดับใน Polygon และฮิสโทแกรมสีจากระดับในภาพต้นฉบับเฉพาะในตำแหน่งของ

จุดภาพในภาพระยะทางที่ตรงกับคู่ลำดับใน Polygon นั้น ในภาพที่มีความละเอียดต่ำ จุดภาพแต่ละจุดเกิดจาก 4 จุดภาพในภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น 1 ระดับ ดังนั้นหากมีจำนวนระดับของพีระมิดมาก บริเวณพื้นที่ในระดับภาพต้นฉบับที่นำมาพิจารณาก็มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย เมื่อได้บริเวณที่จะนำมาเปรียบเทียบกันทั้งสองภาพแล้ว จึงคำนวณค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันจากสมการที่ 2.20 และทำเช่นนี้กับทุกตำแหน่งคู่ลำดับใน Polygon ในบริเวณที่ภาพทั้งสองซ้อนทับกัน แล้วนำค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันแล้วมาคำนวณและเก็บค่าเฉลี่ยไว้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ

จากนั้นจะเก็บค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันของทุกตำแหน่งของการแปลงภาพที่เป็นไปได้ไว้เพื่อใช้คำนวณเกณฑ์การตัดออกหรือค่าขีดแบ่งได้ดังสมการที่ 3.3 นอกจากนี้แล้วยังกำหนดเกณฑ์การตัด

ออกอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดจำนวนจุดของ Polygon ในบริเวณที่ซ้อนทับกัน หากบริเวณที่ซ้อนทับกัน มีจำนวนจุดใน Polygon น้อยกว่าที่กำหนด จะเกิดการแปลงภาพในตำแหน่งนั้นออกไป

$$rejection\ value = \max - \left(\max \times \frac{percent}{100} \right) \quad \dots(3.3)$$

เมื่อ $rejection\ value$ = ค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดตำแหน่งที่ไม่ควรนำไปพิจารณาต่อในระดับถัดไป
 max = ค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่สูงที่สุดในระดับที่กำลังพิจารณา
 $percent$ = ค่าเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

เมื่อคำนวณค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในการจัดเรียงภาพแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง หากมีค่าต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง ตำแหน่งนั้นจะไม่ถูกนำไปพิจารณาในการจัดเรียงในภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น ส่วนตำแหน่งที่มีค่าที่ได้จากตัววัดสูงกว่าค่าขีดแบ่งนี้ ตำแหน่งนั้นจะถูกขยายเป็น 4 ตำแหน่งและนำไปพิจารณาในระดับถัดไป กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปทุกระดับของพีระมิดยกเว้นในระดับภาพต้นฉบับ

ขั้นตอนที่ 3 การจัดเรียงภาพในระดับภาพต้นฉบับ

การจัดเรียงภาพในระดับภาพต้นฉบับจะจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ ขั้นตอนที่ใช้จะเหมือนกับการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพในระดับภาพต้นฉบับเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในทุกตำแหน่งที่เหลือแล้ว จะหาตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่ได้จะเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจัดเรียงภาพ

ขั้นตอนที่ 4 การรวมภาพและการเชื่อมภาพมากกว่าสองภาพ

ในขั้นตอนนี้ทำเช่นเดียวกับการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ คือรวมภาพในตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 น้อยที่สุด โดยการเฉลี่ยสีในโมเดล HSV หลังจากนั้นจึงเชื่อมภาพในลำดับต่อไป จนกระทั่งภาพทั้งหมดรวมเข้าด้วยกัน

3.6 การเปรียบเทียบกระบวนการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพกับการทำโมเสกภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ

การเปรียบเทียบกระบวนการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพกับการทำโมเสกภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของวิธีการทั้งสองวิธี ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ การเปรียบเทียบในส่วนของการประมวลผลก่อน (Preprocessing) และการเปรียบเทียบในส่วนของการจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด

3.6.1 การเปรียบเทียบในส่วนของผลการประมวลผลก่อน

การเปรียบเทียบในส่วนการประมวลผลก่อนนี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่จะนำข้อมูลนี้ไปใช้ในขั้นตอนการจัดเรียงภาพ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในทั้งสองวิธีนี้มีลักษณะไม่เหมือนกัน ดังนั้นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันด้วย

สำหรับการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบกับวิธีการสีและขอบนั้น ข้อมูลที่ต้องการคือพีระมิดของภาพ Polygon และพีระมิดของภาพระยะทาง ดังในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในวิธีการขอบนั้น พีระมิดภาพระยะทางต้องสร้างภาพระยะทางในทุกระดับชั้นในพีระมิด สำหรับวิธีการสีและขอบนั้น พีระมิดภาพระยะทางจะสร้างภาพระยะทางเฉพาะในระดับภาพต้นฉบับเท่านั้น แต่งานที่ต้องทำเพิ่มคือต้องสร้างภาพควอนไทซ์สีจากภาพต้นฉบับด้วย

เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนวิธีในการเตรียมข้อมูลของทั้งสองวิธีแล้วพบว่า การสร้างภาพระยะทางในทุกระดับชั้นในวิธีการขอบใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าการสร้างภาพควอนไทซ์สีที่ทำเพียงเฉพาะกับภาพต้นฉบับเท่านั้น เนื่องจากการสร้างภาพระยะทางนั้นจะต้องวนทำซ้ำไปจนกระทั่งค่าในภาพนั้นไม่เปลี่ยนแปลง และยังต้องทำในทุกระดับพีระมิดอีกด้วย ในขณะที่การสร้างภาพควอนไทซ์สีนั้นจะทำเพียงรอบเดียวในระดับภาพต้นฉบับ ดังนั้นสรุปได้ว่าในขั้นตอนการประมวลผลก่อนเพื่อที่จะนำข้อมูลไปใช้ในการจัดเรียงภาพนั้น วิธีการสีและขอบเร็วกว่าวิธีการขอบเพียงอย่างเดียว

3.6.2 การเปรียบเทียบในส่วนของ การจัดเรียงพีระมิดของภาพ

การเปรียบเทียบในส่วนการจัดเรียงพีระมิดของภาพนี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วที่มีผลมาจากการลดลงของจำนวนการแปลงภาพหรือจำนวนขอบเขตการค้นหาในแต่ละระดับของพีระมิด

เมื่อพิจารณาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการจัดเรียงภาพของทั้งสองวิธีแล้ว พบว่า เกณฑ์การคัดออกโดยใช้สีสามารถตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมได้มากกว่าการใช้ขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะการใช้สีเป็นลักษณะเด่นในการเปรียบเทียบจะทำให้เห็นความคล้ายกันหรือแตกต่างกันในแต่ละการแปลงภาพได้ชัดเจนกว่าการใช้ขอบเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจัดเรียงภาพในระดับภาพที่มีความละเอียดต่ำที่มีการเก็บข้อมูลความเป็นขอบของจุดภาพที่สอดคล้องกันในระดับภาพที่มีความละเอียดสูงกว่าไว้ด้วย ทำให้ขอบของวัตถุในภาพที่มีความละเอียดต่ำจะมีจำนวนมาก ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบขอบของแต่ละการแปลงภาพก็จะใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจึงถูกตัดออกจำนวนน้อย แต่สำหรับการเปรียบเทียบคู่สีจะเปรียบเทียบค่าสีที่อยู่ในระดับภาพต้นฉบับเท่านั้น ดังนั้นการทำพีระมิดของลำดับชั้นจึงไม่มีผลต่อค่าสีที่ใช้ในการเปรียบเทียบคู่ดังเช่นวิธีการขอบ ทำให้ค่าที่ได้จากตัววัดการเปรียบเทียบคู่สีจึงสามารถตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไปได้มากกว่า

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในขั้นตอนการจัดเรียงพีระมิดของภาพ วิธีการสี่และขอบจะสามารถลดจำนวนการแปลงภาพได้มากกว่าวิธีการขอบเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้วิธีการสี่เร็วกว่าวิธีการขอบ

3.7 สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทำโมเสกภาพแนวระนาบโดยกำหนดให้ชุดภาพนำเข้าต้องเข้ามาเป็นลำดับโดยภาพในลำดับหลังจะต้องมีส่วนซ้อนทับกับภาพในลำดับก่อนหน้า และการแปลงภาพจะจำกัดเฉพาะการแปลงภาพแบบเลื่อนเท่านั้น วิธีการที่นำเสนอแบ่งเป็น 2 วิธี คือการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพและการทำโมเสกภาพโดยใช้สี่และขอบของวัตถุในภาพ

การทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ เป็นการประยุกต์จากการเปรียบเทียบขอบของวัตถุในภาพแบบ Chamfer ซึ่งลำดับขั้น ขั้นตอนของการทำโมเสกภาพเริ่มตั้งแต่การแปลงภาพนำเข้าในสองลำดับแรกเป็นพีระมิดของภาพ Polygon และพีระมิดของภาพระยะทางด้วยวิธีการแปลงภาพระยะทางแบบ 3-4 จากนั้นทำการจัดเรียงภาพในภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดโดยเลื่อนภาพ Polygon ไปบนภาพระยะทางและคำนวณค่าเฉลี่ย r.m.s ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ในทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้และคำนวณค่าขีดแบ่งจากเกณฑ์การตัดออก ตำแหน่งที่เหลือจากการตัดออกนี้จะนำไปพิจารณาในการจัดเรียงในระดับภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น กระบวนการจัดเรียงภาพนี้ทำซ้ำจนกระทั่งถึงระดับภาพต้นฉบับ ตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่น้อยที่สุดในระดับภาพต้นฉบับถือเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจัดเรียงภาพ

ส่วนการทำโมเสกภาพโดยใช้สี่และขอบของวัตถุในภาพนี้ มีขั้นตอนคล้ายกับการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว แต่จะใช้ฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันซึ่งเป็นตัววัดการเปรียบเทียบสีมาช่วยในการจัดเรียงภาพในพีระมิดทุกระดับยกเว้นระดับภาพต้นฉบับแทน โดยในการเปรียบเทียบสีนั้นสีที่นำมาใช้จะเป็นค่าสีในบริเวณที่อ้างอิงไปในภาพต้นฉบับ ส่วนระดับภาพต้นฉบับนั้นก็ใช้การจัดเรียงภาพโดยขอบของวัตถุในภาพเช่นเดียวกันกับการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

จากการวิเคราะห์วิธีการทั้งสองที่ได้นำเสนอพบว่าการนำสี่เข้ามาประยุกต์กับการทำโมเสกจะเร็วกว่าการทำโมเสกภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในขั้นตอนการประมวลผลก่อนจะไม่ต้องสร้างภาพระยะทางในทุกุระดับของพีระมิด และในขั้นตอนการจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดยังสามารถตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมได้มากกว่าการใช้ขอบของวัตถุในภาพเพียงอย่างเดียว

บทที่ 4

การทดลองและผลลัพธ์

ในบทนี้นำเสนอวิธีการทดลองและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการจัดเรียงภาพที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองวิธีคือ วิธีแรกเป็นการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพและการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ โดยชุดภาพที่ใช้ในการทดลองทั้งสองนี้มีด้วยกัน 3 ประเภท และผลลัพธ์ที่ได้จากชุดภาพทั้งหมดจะนำมาประเมินและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ในลำดับต่อไป

4.1 รายละเอียดของชุดภาพที่นำเข้า

ชุดภาพนำเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือชุดภาพจากการตัดส่วนภาพขนาดใหญ่ ชุดภาพที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ และชุดภาพจากกล้องดิจิทัล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ชุดภาพจากการตัดส่วนภาพขนาดใหญ่

ชุดภาพประเภทนี้นี้ได้มาจากการนำภาพขนาดใหญ่มาตัดส่วนเป็นภาพขนาดเล็กจำนวนหลายภาพ ดังนั้นภาพประเภทนี้จะไม่มีความแปรปรวนจากการรับข้อมูลเข้า

ชุดภาพจากเครื่องสแกนเนอร์

ชุดภาพประเภทนี้มาจากการสแกนภาพจากเครื่องสแกน Hewlett Packard รุ่น Scanjet 6200c โดยผ่านโปรแกรม HP PrecisionScan Pro 1.01 รายละเอียดของการสแกนภาพแสดงในตารางที่ 4.1 ลักษณะภาพประเภทนี้มีสัญญาณรบกวนจากการสแกนภาพ และบางครั้งภาพในชุดภาพเดียวกันซึ่งได้มาจากการสแกนแต่ละครั้งมีโทนสีไม่เหมือนกัน นอกจากนี้การสแกนภาพอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ เช่น การเอียงของภาพซึ่งส่งผลให้ภาพนำเข้าไม่ตรงกับข้อกำหนดของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดในการสแกนภาพ

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ประเภทของผลลัพธ์ (Output type)	ภาพสีจริง (True color)
ระดับความชัด (Sharpen level)	สูง (High)
ความคมชัดของผลลัพธ์ (Output resolution)	100 dpi

ชุดภาพจากกล้องดิจิทัล

ชุดภาพประเภทนี้ได้มาจากการถ่ายภาพจากกล้องดิจิทัล Sony รุ่น Digital Mavica รายละเอียดของการถ่ายภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ลักษณะของภาพประเภทนี้将有ความสว่างของภาพน้อยกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ในชุดภาพเดียวกันอาจจะมีโทนสีไม่เหมือนกัน และมีความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากการเอียงของภาพ ส่งผลให้ภาพนำเข้าไปไม่ตรงกับข้อกำหนดของงานวิจัยนี้เช่นเดียวกับภาพที่ได้จากการสแกน

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดในการถ่ายภาพ

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ระดับของแฟลช (Flash level)	ปกติ (Normal)
โฟกัส (Focus)	อัตโนมัติ (Auto)
โหมดบันทึก (Rec. mode)	ปกติ (Normal)
คุณภาพ (Quality)	ดี (Fine)

4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการจัดเรียงภาพ 2 วิธีด้วยกัน คือการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบและการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบ ทั้งสองวิธีนี้จะกำหนดพารามิเตอร์อยู่หลายค่า และได้สรุปค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้สำหรับอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเนื่องจากการนำข้อมูลเข้าผ่านทางสแกนเนอร์และกล้องดิจิทัลนั้น แต่ละภาพในชุดภาพเดียวกันอาจจะมีโทนสีแตกต่างกัน ค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีการสีและขอบที่กำหนดในที่นี้จึงปรับค่าให้เหมาะสมกับชุดภาพประเภทดังกล่าวโดยกำหนดเกณฑ์การคัดออกของชุดภาพทั้งสองประเภทมากกว่าเกณฑ์การคัดออกของชุดภาพตัดส่วน

4.3 การประเมินผล

การประเมินผลในการวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบสองแบบคือ ประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพและเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพของทั้งสองวิธี

4.3.1 ความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ

การประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพในงานวิจัยนี้ใช้คนประเมินทั้งหมดจำนวน 30 คน โดยให้พิจารณาผลลัพธ์ของภาพที่ได้จากการวิธีการขอบและวิธีการขอบและสีตามความรู้สึกของผู้

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของชุดภาพที่นำมาใช้ในการประเมินผลความถูกต้อง

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2, ..., n (จุดภาพ x จุดภาพ)
001	ตัดส่วน	2	172 x 406 , 172 x 421
002	ตัดส่วน	4	156 x 200 , 140 x 208, 156 x 187, 145 x 173
003	ตัดส่วน	4	224 x 153 , 199 x 203, 198 x 202, 240 x 215
004	ตัดส่วน	5	170 x 279, 168 x 279, 168 x 279, 168 x 279, 168 x 279
005	ตัดส่วน	3	640 x 202, 640 x 218, 640 x 257
006	สแกน	4	238 x 309, 238 x 311, 238 x 328, 176 x 314
007	สแกน	2	381 x 415, 381 x 408
008	สแกน	3	338 x 288, 333 x 290, 288 x 294
009	สแกน	3	208 x 256, 208 x 277, 169 x 414
010	สแกน	3	226 x 226, 223 x 224, 337 x 194
011	สแกน	4	190 x 313, 216 x 313, 206 x 313, 185 x 313
012	สแกน	3	242 x 145, 243 x 145, 263 x 145
013	สแกน	3	179 x 246, 178 x 243, 175 x 241
014	สแกน	4	364 x 225, 364 x 250, 364 x 209, 364 x 209
015	สแกน	2	151 x 150, 158 x 151
016	สแกน	4	236 x 274, 236 x 234, 292 x 234, 292 x 261
017	สแกน	3	250 x 246, 152 x 249, 160 x 249
018	สแกน	3	203 x 239, 176 x 240, 160 x 238
019	สแกน	2	225 x 351, 225 x 351
020	สแกน	2	170 x 234, 170 x 234
021	กล่องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
022	กล่องดิจิทัล	2	192 x 144, 192 x 144
023	กล่องดิจิทัล	4	144 x 192, 144 x 192, 144 x 192, 144 x 192
024	กล่องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
025	กล่องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
026	กล่องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
027	กล่องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
028	กล่องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) รายละเอียดของชุดภาพที่นำมาใช้ในการประเมินผลความถูกต้อง

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2, ..., n (จุดภาพ x จุดภาพ)
029	กล้องดิจิทัล	4	186 x 97, 191 x 106, 277 x 106, 91 x 104
030	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 106 x 135
031	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
032	กล้องดิจิทัล	2	192 x 144, 192 x 144
033	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144
034	กล้องดิจิทัล	2	144 x 192, 144 x 192
035	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
036	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
037	กล้องดิจิทัล	5	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
038	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
039	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
040	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144

4.3.2 ความเร็วในการจัดเรียงภาพ

ความเร็วในการจัดเรียงภาพจะใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเรียงภาพทั้งสองวิธีเมื่อการจัดเรียงภาพจากทั้งสองวิธีมีความถูกต้องและมีการแปลงภาพในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งจะเปรียบเทียบจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงหรือจำนวนขอบเขตของการค้นหาที่ลดลงเมื่อใช้เทคนิคพีระมิดความละเอียด นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงภาพของแต่ละวิธี โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลนี้เป็นรุ่น Pentium II ความเร็ว 600 เมกกะเฮิร์ตซ์ และหน่วยความจำ 128 เมกกะไบต์ ซึ่งเวลาในที่นี้มีความสัมพันธ์กับขนาดของรูปด้วย

การเปรียบเทียบความเร็วในส่วนการจัดเรียงภาพนี้ พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด และเปอร์เซ็นต์จำนวนการแปลงภาพที่ลดลงโดยรวม ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ในที่นี้เป็นการคำนวณเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$all_i = position_{i-1} \times 4 \quad \dots(4.1)$$

$$reject_i = all_i - position_i \quad \dots(4.2)$$

เมื่อ $reject_i$ = จำนวนการแปลงภาพที่ลดลงเมื่อใช้เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับที่ i
 all_i = จำนวนการแปลงภาพทั้งหมดเมื่อไม่มีการใช้เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับที่ i
 $position_i$ = จำนวนการแปลงภาพเมื่อใช้เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับที่ i
 i = ระดับที่ของพีระมิด, $i = 0$ หมายถึงระดับของพีระมิดที่ภาพขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ

ส่วนการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 ดังต่อไปนี้

$$reduce_i = \left(\frac{reject_i}{all_i} \right) \times 100 \quad \dots(4.3)$$

$$average\ reduce = \sum_{i=0}^{n-1} reduce_i / (n-1) \quad \dots(4.4)$$

เมื่อ $reduce_i$ = เปอร์เซนต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในพีระมิดระดับที่ i
 $average\ reduce$ = เปอร์เซนต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด
 n = จำนวนระดับของพีระมิด

ตารางที่ 4.5 แสดงถึงจำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด ส่วนตัวอย่างของการคำนวณเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยโดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างจำนวนตำแหน่งที่แปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด

พีระมิดระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับพีระมิด
3	2231
2	2236
1	5446
0	3012

ตารางที่ 4.6 การคำนวณเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด

การจัดเรียงภาพจาก	การคำนวณเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด
พีระมิดระดับที่ 3 เป็นระดับที่ 2	$= (((2231 \times 4) - 2236) / (2231 \times 4)) \times 100$ $= ((8924 - 2236) / 8924) \times 100$ $= (6688 / 8924) \times 100$ $= 74.94 \%$
พีระมิดระดับที่ 2 เป็นระดับที่ 1	$= (((2236 \times 4) - 5446) / (2236 \times 4)) \times 100$ $= ((8944 - 5446) / 8944) \times 100$ $= (3498 / 8944) \times 100$ $= 39.11 \%$
พีระมิดระดับที่ 1 เป็นระดับที่ 0	$= (((5446 \times 4) - 3012) / (5446 \times 4)) \times 100$ $= ((21784 - 3012) / 21784) \times 100$ $= (18772 / 21784) \times 100$ $= 86.17 \%$
เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย	$= (74.94 + 39.11 + 86.17) / 3$ $= 66.74 \%$

เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ในที่นี้เป็นการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6

$$all = position_{n-1} \times 4^{(n-1)} \quad \dots(4.5)$$

$$reduce = \frac{all - position_0}{all} \times 100 \quad \dots(4.6)$$

เมื่อ $reduce$ = เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง
 all = จำนวนการแปลงภาพทั้งหมดเมื่อไม่มีการใช้เกณฑ์การตัดออกในพีระมิดระดับที่ 0
 $position_{n-1}$ = จำนวนการแปลงภาพเมื่อใช้เกณฑ์การตัดออกในพีระมิดระดับที่ $n - 1$
 $position_0$ = จำนวนการแปลงภาพเมื่อใช้เกณฑ์การตัดออกในพีระมิดระดับที่ 0
 n = จำนวนระดับของพีระมิดทั้งหมด

จากตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง เท่ากับ $((2231 \times 4^3) - 3012) / (2231 \times 4^3) \times 100 = (139772 / 142784) \times 100 = 97.89 \%$

4.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในการประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่สรุปมาจากแบบการประเมินผลในภาคผนวก ข. จากผู้ประเมินทั้งหมด 30 คน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองจากแบบการประเมินผลในภาคผนวก ข.

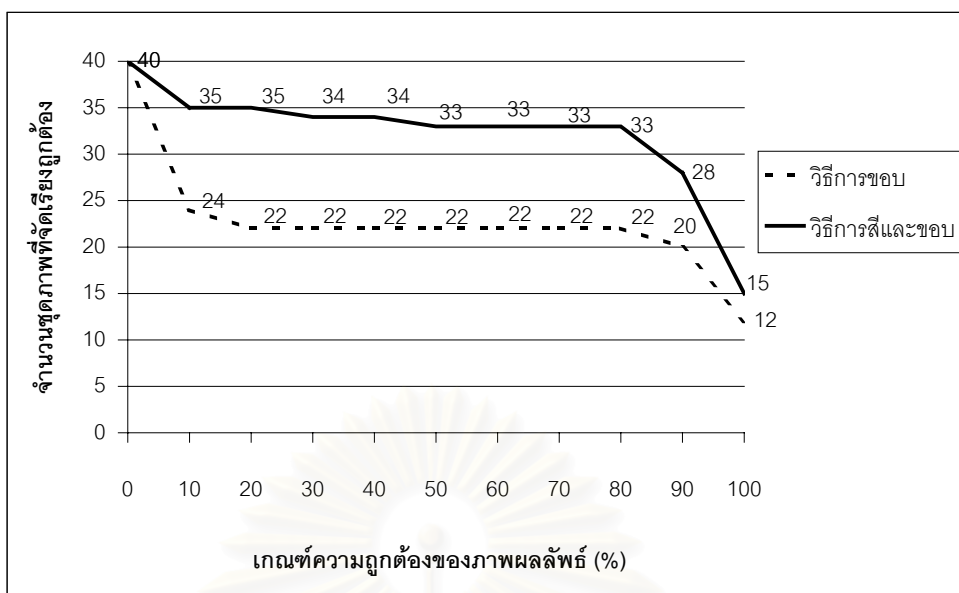
ชุดภาพที่	วิธีการจัดเรียง	จำนวนคนที่ลง ความเห็นว่าคุณต้อง	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์	สรุปผล (ใช้เกณฑ์ความ ถูกต้องเท่ากับ 80%)
001	خوب	4	13.33	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	28	93.33	ถูกต้อง
002	خوب	30	100	ถูกต้อง
	ดีและ خوب	30	100	ถูกต้อง
003	خوب	30	100	ถูกต้อง
	ดีและ خوب	30	100	ถูกต้อง
004	خوب	0	0	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	30	100	ถูกต้อง
005	خوب	30	100	ถูกต้อง
	ดีและ خوب	30	100	ถูกต้อง
006	خوب	0	0	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	29	96.67	ถูกต้อง
007	خوب	30	100	ถูกต้อง
	ดีและ خوب	30	100	ถูกต้อง
008	خوب	24	80	ถูกต้อง
	ดีและ خوب	24	80	ถูกต้อง
009	خوب	0	0	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	29	96.67	ถูกต้อง
010	خوب	0	0	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	28	93.33	ถูกต้อง
011	خوب	0	0	ไม่ถูกต้อง
	ดีและ خوب	28	93.33	ถูกต้อง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) สรุปผลการทดลองจากแบบการประเมินผลในภาคผนวก ข.

012	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
013	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	29	96.67	ถูกต้อง
014	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	29	96.67	ถูกต้อง
015	ขอป	29	96.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
016	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
017	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	28	93.33	ถูกต้อง
018	ขอป	28	93.33	ถูกต้อง
	สี่และขอป	28	93.33	ถูกต้อง
019	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	24	80	ถูกต้อง
020	ขอป	29	96.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
021	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
022	ขอป	29	96.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
023	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
024	ขอป	29	96.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	4	13.33	ไม่ถูกต้อง
025	ขอป	29	96.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	29	96.67	ถูกต้อง
026	ขอป	26	86.67	ถูกต้อง
	สี่และขอป	26	83.33	ถูกต้อง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) สรุปผลการทดลองจากแบบการประเมินผลในภาคผนวก ข.

027	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
028	ขอป	27	90	ถูกต้อง
	สี่และขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
029	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	26	86.67	ถูกต้อง
030	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	14	46.67	ไม่ถูกต้อง
031	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	27	90	ถูกต้อง
032	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
033	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
034	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	28	93.33	ถูกต้อง
035	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
036	ขอป	4	13.33	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
037	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	25	83.33	ถูกต้อง
038	ขอป	28	93.33	ถูกต้อง
	สี่และขอป	28	93.33	ถูกต้อง
039	ขอป	0	0	ไม่ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง
040	ขอป	30	100	ถูกต้อง
	สี่และขอป	30	100	ถูกต้อง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดลองที่ได้จากการประเมินผลความถูกต้องของภาพ

ผลการทดลองการจัดเรียงภาพจากตารางนี้ สามารถแสดงได้ดังรูป 4.1 ซึ่งจากกราฟนี้ในแนวแกนตั้งแสดงถึงจำนวนชุดภาพที่ถูกต้อง และแนวแกนนอนแสดงถึงเกณฑ์ที่ใช้วัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์ คิดเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ของผู้ประเมิน ตัวอย่างเช่น หากใช้เกณฑ์วัดความถูกต้องเท่ากับ 80% หมายถึงหากชุดภาพผลลัพธ์ที่มีผู้ประเมินมากกว่า 80% ของผู้ประเมินทั้งหมด (ในที่นี้เท่ากับ 24 คนจากผู้ประเมินทั้งหมด 30 คน) ลงความเห็นว่าชุดภาพนั้นถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จะถือว่าภาพผลลัพธ์นั้นถูกต้อง ดังนั้นจากกราฟนี้จะเห็นว่าเมื่อใช้เกณฑ์ความถูกต้องเท่ากับ 80% ชุดภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องในวิธีการขอบเท่ากับ 22 ชุดภาพ และวิธีการสีและขอบเท่ากับ 33 ชุดภาพ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

1. จากกราฟในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบมีความถูกต้องมากกว่าการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ ไม่ว่าจะกำหนดเกณฑ์ความถูกต้องของผลลัพธ์ไว้เท่าใดก็ตาม
2. จากการทดลองพบว่าชุดภาพบางประเภท ซึ่งได้มาจากการสแกนและถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 และ 4.3 มีผลลัพธ์ถูกต้องจากการจัดเรียงทั้งสองวิธีโดยตำแหน่งที่มีการแปลงภาพที่ดีที่สุดเป็นตำแหน่งเดียวกัน
3. ภาพผลลัพธ์จากวิธีการขอบไม่ถูกต้อง สามารถแบ่งเป็นหลายสาเหตุได้ดังนี้
 - 3.1 เนื่องจากรูปร่างของวัตถุภายในภาพมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่มีสีต่างกัน ดังนั้นหากใช้ขอบของวัตถุในภาพเป็นลักษณะเด่นเพียงอย่างเดียวในการจัดเรียงภาพ ทำให้การจัดเรียงภาพผิดได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.4

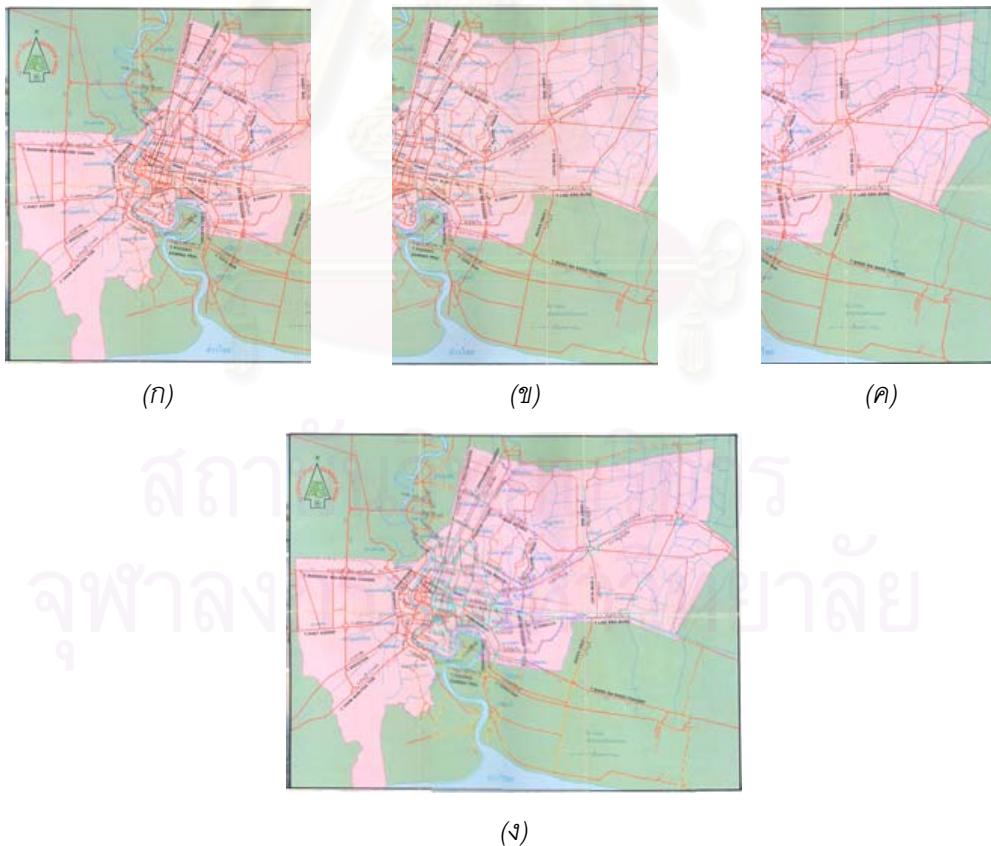
3.2 เนื่องจากภาพนำเข้ามีขอบของวัตถุในภาพจำนวนเยอะมาก หรือจุดภาพเกือบทุกจุดในภาพมีความเป็นขอบ ทำให้การแปลงภาพแต่ละครั้งมีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ไม่แตกต่างกันมาก ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะผิดเพี้ยนไปได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.5

4. ภาพผลลัพธ์จากวิธีการสีและขอบไม่ถูกต้อง สามารถแบ่งเป็นหลายสาเหตุได้ดังนี้

4.1 เนื่องจากภาพนำเข้ามีค่าสีของบริเวณที่ซ้อนทับกันคล้าย ๆ กันหลายตำแหน่งในภาพ ทำให้ในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะผิดเพี้ยนไปได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.6

4.2 เนื่องจากโทนสีของชุดภาพนำเข้ามีความแปรปรวนของแสงซึ่งมีผลมาจากกระบวนการนำเข้า ทำให้เมื่อคอนโทนสีเพื่อใช้วัดค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน สีที่ได้จะออกมาไม่เหมือนกัน ดังนั้นการจัดเรียงภาพโดยใช้สีเข้ามาประกอบนั้นอาจจะผิดได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7 ภาพนำเข้าลำดับที่ 3 หรือภาพ (ค) โทนสีจะค่อนข้างมืดกว่าในภาพนำเข้าสองภาพแรก

นอกจากนี้การที่ภาพผลลัพธ์ของทั้งสองวิธีไม่ถูกต้องนั้น ในบางครั้งอาจจะเกิดจากกระบวนการนำเข้าภาพเช่นการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งลักษณะการถ่ายภาพทำให้ภาพไม่อยู่ในแนวระนาบจริงตามที่กำหนดไว้ เช่นอาจจะมีการเอียงของกล้องเมื่อถ่ายภาพทีละภาพ การจัดเรียงภาพจึงอาจจะคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพแผนที่ที่จัดเรียงถูกต้องทั้งโดยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างป้ายชื่อโรงเรียนที่จัดเรียงภาพถูกต้องทั้งโดยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ (ก) ถึง (ค) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการขอบเป็นภาพที่มีรูปร่างของวัตถุภายในภาพมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่มีสีต่างกัน (ก) ถึง (ค) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

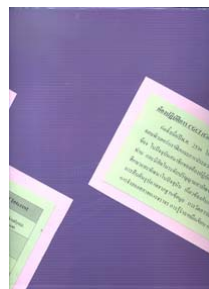


(จ)

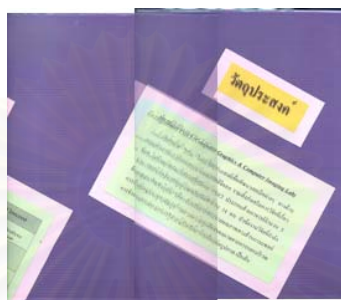
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการขอบเป็นภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพจำนวนมาก หรือจุดภาพเกือบทุกจุดมีความเป็นขอบ ถึง (ง) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



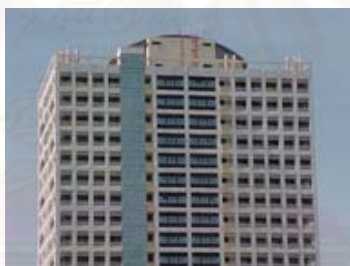
(ค)

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการสีและขอบเป็นภาพที่มีสีของบริเวณซ้อนทับคล้าย ๆ กันหลายตำแหน่งในภาพ

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพการจัดเรียงที่ผิดโดยวิธีการสีและขอบเป็นภาพที่มีโทนสีต่างกัน

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพ

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพหลาย ๆ ลักษณะ เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยใช้วิธีการขอบและวิธีการสี่และขอบกับภาพที่มีขอบและสีหลากหลายแบบ เพื่อหาลักษณะภาพที่เหมาะสมในการจัดเรียงภาพแต่ละวิธี จากนั้นจะเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพทั้งสองวิธีเมื่อทดลองกับภาพชุดเดียวกัน

ประเภทของภาพที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ สามารถแบ่งประเภทได้โดยพิจารณาจาก

1. อัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพต้นฉบับ (จำนวนขอบ) ต่อจำนวนจุดภาพทั้งหมด ในที่นี้ขอเรียกว่า *อัตราส่วนขอบ* หากภาพมีอัตราส่วนขอบมากกว่า 0.5 หรือมีจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพมากกว่าครึ่งหนึ่งของจุดภาพทั้งหมดจะถือว่าภาพนั้นเป็นภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมาก

2. ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพ ในที่นี้ขอเรียกว่า *ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H* ซึ่งเป็นความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันของแต่ละการแปลงภาพกับค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันที่มีค่ามากที่สุดในระดับภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุด หากภาพมีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H มากกว่า 0.5 จะถือว่าภาพนั้นเป็นภาพที่มีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมาก

4.5.1 การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบด้วยภาพที่มีจำนวนขอบแตกต่างกัน

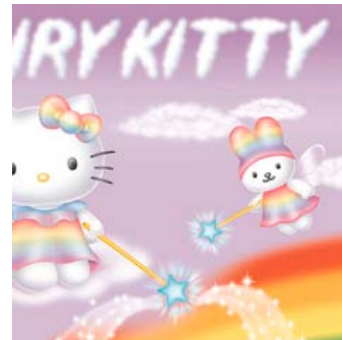
ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบด้วยภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่าอีกภาพหนึ่ง โดยมีสมมติฐานว่าเมื่อจัดเรียงภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่าด้วยวิธีการขอบจะช้ากว่าการจัดเรียงภาพที่มีขอบของวัตถุน้อยกว่าเมื่อภาพมีขนาดเท่ากัน ชุดภาพตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 และตารางที่ 4.8 แสดงถึงรายละเอียดของชุดภาพที่ 041 และ 042

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดของชุดภาพที่ 041 และ 042

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	จำนวนขอบ	อัตราส่วนขอบ
041	ตัดส่วน	2	01	200 x 240	5708	0.119
			02	240 x 240	7024	0.122
042	ตัดส่วน	2	01	200 x 240	32513	0.677
			02	240 x 240	38727	0.672



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างชุดภาพที่ 041 ที่มีอัตราส่วนขอบประมาณ 0.12
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างชุดภาพที่ 042 ที่มีอัตราส่วนขอบประมาณ 0.67
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบสามารถแสดงจำนวนการลดลงของแต่ละระดับในพีระมิดได้ดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

ตารางที่ 4.9 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 041 และ 042

ชุดภาพที่ (เวลาที่ใช้)	พีระมิตระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต
041 (3.08 นาที)	3	3186
	2	6440
	1	25744
	0	35466
042 (41.57 นาที)	3	3186
	2	8412
	1	33412
	0	130076

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซนต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 041 และ 042

ชุดภาพที่	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิต (%)	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงโดยรวม (%)
041	38.362	82.607
042	12.455	36.207

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เมื่อใช้วิธีการขอบ ภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยกว่านั้นจะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่าเมื่อภาพมีขนาดเท่ากัน เนื่องจากภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมาก ในระดับที่มีความละเอียดต่ำจะมีปริมาณขอบของวัตถุในภาพมาก ทำให้ค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่หาได้ในแต่ละการแปลงภาพมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่าก็ยังมีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ใกล้เคียงกันมาก เกณฑ์การคัดออกที่คำนวณได้จึงกำจัดตำแหน่งการแปลงภาพออกไปได้น้อย ส่งผลให้การประมวลผลโดยรวมของภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยกว่า

4.5.2 การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบด้วยภาพที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพต่าง ๆ กัน

ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพในวิธีการสีและขอบด้วยภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากกว่าอีกภาพหนึ่ง โดยมีสมมติฐานคือภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากกว่าจะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันน้อยกว่า ชุดภาพตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 และตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของชุดภาพที่ 043 และ 044

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของชุดภาพที่ 043 และ 044

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H
043	ตัดส่วน	2	01	200 x 240	0.968
			02	240 x 240	
044	ตัดส่วน	2	01	200 x 240	0.345
			02	240 x 240	



(ก)



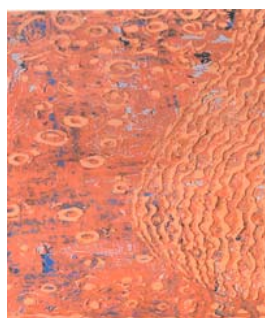
(ข)



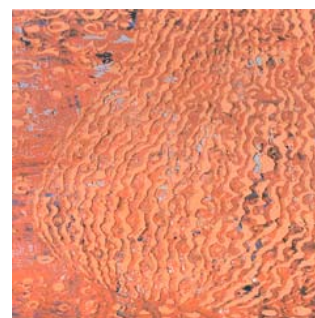
(ค)

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างชุดภาพที่ 043 ที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H ประมาณ 0.96

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างชุดภาพที่ 044 ที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H ประมาณ 0.34
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพในวิธีการสี่และขอบสามารถแสดงจำนวนการลดลงของแต่ละระดับในพีระมิดได้ดังตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

ตารางที่ 4.12 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 043 และ 044

ชุดภาพที่ (เวลาที่ใช้)	พีระมิตระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต
043 (0.28 นาที)	3	3186
	2	92
	1	68
	0	80
042 (53.27 นาที)	3	3186
	2	9004
	1	36016
	0	144064

ตารางที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 043 และ 044

ชุดภาพที่	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด (%)	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงโดยรวม (%)
043	83.796	99.961
044	9.782	29.347

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ เมื่อใช้การจัดเรียงภาพโดยวิธีการสี่และขอบ ภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากกว่า จะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพใกล้เคียงกันเมื่อภาพมีขนาดเท่ากัน เนื่องจากภาพที่มีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในการแปลงภาพแต่ละครั้งน้อย ฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละครั้งของการแปลงภาพจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นเกณฑ์การคัดออกที่คำนวณได้จึงตัดการแปลงภาพได้น้อย ส่งผลให้การประมวลผลโดยรวมของภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากกว่าภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันน้อย

4.5.3 การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบกับวิธีการสี่และขอบ

การเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพในวิธีการขอบกับวิธีการสี่และขอบเป็นการเปรียบเทียบจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของแต่ละวิธีการเมื่อใช้ชุดภาพชุดเดียวกัน สามารถแบ่งเป็น

- การเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองที่ทำกับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมาก

ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของวิธีการขอบกับวิธีการสี่และขอบเมื่อใช้ชุดภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากและมีความแตกต่างของสีในแต่ละการแปลงภาพมากเป็นชุดภาพทดลอง โดยมีสมมติฐานว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากและมีความแตกต่างในการแปลงสีมาก การจัดเรียงภาพด้วยวิธีการสี่และขอบจะเร็วกว่าการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบ ชุดภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.14 แสดงรายละเอียดของชุดภาพที่ 045

ตารางที่ 4.14 รายละเอียดของชุดภาพที่ 045

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	จำนวนขอบ	อัตราส่วนขอบ	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H
045	ตัดส่วน	2	01	244 x 286	38380	0.550	0.931
			02	340 x 286	54602	0.562	

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพในวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบสามารถแสดงจำนวนการลดลงของแต่ละระดับในพีระมิดได้ดังตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างชุดภาพที่ 045 ที่มีอัตราส่วนขอบมากและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H มาก (ก) ถึง (ข) ภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ตารางที่ 4.15 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงของชุดภาพที่ 045 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ

วิธีการจัดเรียง (เวลาที่ใช้)	พีระมิดระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด
ขอบ (28.13 นาที)	3	4899
	2	10292
	1	25404
	0	85248
สีและขอบ (1.28 นาที)	3	4899
	2	552
	1	16
	0	32

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 045

วิธีการจัดเรียง	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด (%)	เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง (%)
ขอบ	33.960	72.811
สี่และขอบ	82.153	99.990

- การเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองที่ทำกับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพน้อย

ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของวิธีการขอบกับวิธีการสี่และขอบเมื่อใช้ชุดภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากแต่มีความแตกต่างของสีในแต่ละการแปลงภาพน้อยเป็นชุดภาพทดลอง โดยมีสมมติฐานว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากแต่มีความแตกต่างของฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพน้อย การจัดเรียงภาพด้วยวิธีการทั้งสองจะช้า แต่การจัดเรียงภาพด้วยสี่และขอบน่าจะเร็วกว่าการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบ ชุดภาพตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูป 4.13 และตารางที่ 4.17 แสดงรายละเอียดของชุดภาพที่ 046

ตารางที่ 4.17 รายละเอียดของชุดภาพที่ 046

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	จำนวนขอบ	อัตราส่วนขอบ	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H
046	ตัดส่วน	2	01	172 x 182	21473	0.686	0.427
			02	172 x 182	19969	0.638	

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพในวิธีการขอบและวิธีการสี่และขอบสามารถแสดงจำนวนการลดลงของแต่ละระดับในพีระมิดได้ดังตารางที่ 4.18 และตารางที่ 4.19 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ การจัดเรียงภาพในทั้งสองวิธี เปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนการแปลงภาพจะมีค่าน้อย เนื่องจากภาพมีขอบของวัตถุมากทำให้การจัดเรียงด้วยวิธีการขอบช้าเช่นเดียวกับชุดภาพที่ 042 ที่มีอัตราส่วนขอบสูง (ประมาณ 0.67) และเนื่องจากภาพมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพน้อยทำให้การจัดเรียงด้วยวิธีการสี่และขอบช้าเช่นเดียวกับชุดภาพที่ 044 ดังนั้นภาพในลักษณะนี้จึงไม่เหมาะกับการจัดเรียงภาพทั้งสองวิธี

อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการขอบซ้ำกว่าวิธีการสีและขอบ ถึงแม้ว่าจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบใหม่ เพื่อที่จะให้การประมวลผลเร็วขึ้นได้ ตัวอย่างเช่นกำหนดค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้กับการจัดเรียงภาพในชุดภาพที่ 046 ดังตารางที่ 4.20 และตารางที่ 4.21 แสดงถึงจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับพีระมิดเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ ทั้งนี้จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดเท่ากับ 46.658 และเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงเท่ากับ 85.033 แต่ในบางครั้งอาจจะทำให้การจัดเรียงภาพผิดได้ ดังรูปที่ 4.14



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างชุดภาพที่ 046 ที่มีอัตราส่วนขอบมากและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H น้อย (ก) ถึง (ข) ภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ตารางที่ 4.18 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียง
ของชุดภาพที่ 046 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ

วิธีการจัดเรียง (เวลาที่ใช้)	พีระมิดระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด
ขอบ (7.24 นาที)	3	1763
	2	4048
	1	15844
	0	47996
สีและขอบ (1.28 นาที)	3	1763
	2	4132
	1	14268
	0	41780

ตารางที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 046

วิธีการ จัดเรียง	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพ ที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด (%)	เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการ แปลงภาพที่ลดลง (%)
ขอบ	23.005	57.462
สีและขอบ	27.292	62.971



รูปที่ 4.14 ภาพผลลัพธ์ของการจัดเรียงโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 046 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใหม่สำหรับชุดภาพที่ 046

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่กำหนดเดิม	ค่าที่กำหนดใหม่
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดระดับที่ n	40	30
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดระดับที่ n - 1	30	20
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดที่สูงกว่าระดับที่ n - 1	20	10

ตารางที่ 4.21 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 046 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์

พีระมิดระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับพีระมิด	
	พารามิเตอร์เดิม	พารามิเตอร์ใหม่
3	1763	1763
2	4048	4048
1	15844	7492
0	47996	16888

- การเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองที่ทำกับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมาก

ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของวิธีการขอบกับวิธีการสีและขอบเมื่อใช้ชุดภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยแต่มีความแตกต่างของฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมากเป็นชุดภาพทดลอง โดยมีสมมติฐานว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยแต่มีความแตกต่างของฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมาก การจัดเรียงภาพด้วยวิธีการสีและขอบน่าจะเร็วกว่าการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบ ชุดภาพตัวอย่างสามารถแสดงดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.22 แสดงรายละเอียดของชุดภาพที่ 047

ตารางที่ 4.22 รายละเอียดของชุดภาพที่ 047

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	จำนวนขอบ	อัตราส่วนขอบ	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H
047	ตัดส่วน	2	01	125 x 180	2067	0.092	0.808
			02	149 x 180	2549	0.095	



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.15 ตัวอย่างชุดภาพที่ 047 ที่มีอัตราส่วนขอบน้อยและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H มาก
(ก) ถึง (ข) ภาพลำดับที่ 1 ถึง ภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพในวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบการลดลงของจำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับในพีระมิดแสดงในตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.24 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

ตารางที่ 4.23 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียง
ของชุดภาพที่ 047 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ

วิธีการจัดเรียง (เวลาที่ใช้)	พีระมิตระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต
ขอบ (3.18 นาที)	2	5963
	1	12240
	0	32680
สีและขอบ (0.14 นาที)	2	5963
	1	128
	0	48

ตารางที่ 4.24 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 047

วิธีการจัดเรียง	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิด (%)	เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง (%)
ขอบ	40.943	65.747
สี่และขอบ	95.044	99.950

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ สำหรับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพมาก การจัดเรียงภาพทั้งสองวิธีค่อนข้างเร็ว แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการสี่และขอบเร็วกว่าวิธีการขอบ ถึงแม้ว่าจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ใหม่มีผลเพื่อให้การประมวลผลเร็วขึ้นได้ ตัวอย่างเช่นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ใหม่ให้กับการจัดเรียงภาพในชุดภาพที่ 047 ดังตารางที่ 4.25 และตารางที่ 4.26 แสดงถึงจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ในการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ ทั้งนี้จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดเท่ากับ 44.136 และเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงเท่ากับ 69.602 แต่ในบางครั้งอาจจะทำให้การจัดเรียงภาพผิดได้

ตารางที่ 4.25 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใหม่สำหรับชุดภาพที่ 047

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่กำหนดเดิม	ค่าที่กำหนดใหม่
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดระดับที่ n	40	30
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดระดับที่ $n - 1$	30	20
ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในเกณฑ์การคัดออกในระดับพีระมิดที่สูงกว่าระดับที่ $n - 1$	20	10

ตารางที่ 4.26 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียงโดยวิธีการขอบของชุดภาพที่ 047 เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์

พีระมิดระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับพีระมิด	
	พารามิเตอร์เดิม	พารามิเตอร์ใหม่
2	5963	5963
1	12240	10744
0	32680	28328

- การเปรียบเทียบวิธีการทั้งสองที่ทำกับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพน้อย

ในที่นี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบเมื่อใช้ชุดภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและมีความแตกต่างของสีในแต่ละการแปลงภาพน้อยเป็นชุดภาพทดลอง โดยมีสมมติฐานว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและมีความแตกต่างของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพน้อย การจัดเรียงภาพด้วยวิธีการขอบจะเร็วกว่าการจัดเรียงภาพด้วยวิธีการสีและขอบ ชุดภาพตัวอย่างสามารถแสดงในรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.27 แสดงรายละเอียดของชุดภาพที่ 048

ตารางที่ 4.27 รายละเอียดของชุดภาพที่ 048

ชุดภาพที่	ประเภทชุดภาพ	จำนวนภาพ	ลำดับภาพที่	ขนาดของชุดภาพ	จำนวนขอบ	อัตราส่วนขอบ	ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H
048	ตัดส่วน	2	01	180 x 268	1007	0.021	0.460
			02	280 x 268	1338	0.018	



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างชุดภาพที่ 048 ที่มีอัตราส่วนขอบน้อยและความแตกต่างโดยเฉลี่ยของ H น้อย (ก) ถึง (ข) ภาพลำดับที่ 1 ถึง ภาพลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ผลการทดลอง

จากการจัดเรียงภาพในวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบสามารถแสดงจำนวนการลดลงของแต่ละระดับในพีระมิดได้ดังตารางที่ 4.28 และตารางที่ 4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิดและเปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง

ตารางที่ 4.28 จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิดของการจัดเรียง
ของชุดภาพที่ 048 ด้วยวิธีการขอบและวิธีการสีและขอบ

วิธีการจัดเรียง (เวลาที่ใช้)	พีระมิตระดับที่	จำนวนการแปลงภาพในแต่ละระดับของพีระมิต
ขอบ (0.32 นาที)	3	3640
	2	6332
	1	4296
	0	1836
สีและขอบ (27.07 นาที)	3	3640
	2	9152
	1	36468
	0	145872

ตารางที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงของชุดภาพที่ 048

วิธีการจัดเรียง	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลงในแต่ละระดับของพีระมิต (%)	เปอร์เซ็นต์โดยรวมของจำนวนการแปลงภาพที่ลดลง (%)
ขอบ	76.667	99.219
สีและขอบ	12.636	37.383

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้ สำหรับภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยและความแตกต่างของสีในแต่ละการแปลงภาพน้อย การจัดเรียงภาพด้วยวิธีการสีและขอบจะช้ากว่าวิธีการขอบดังตัวอย่างการจัดเรียงภาพในชุดภาพที่ 048 ดังนั้นภาพในลักษณะนี้การจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบเร็วกว่าการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบ

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลอง ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง รวมทั้งการประเมินและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ โดยภาพนำเข้าในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ประเภทคือภาพที่ได้จากการตัดส่วนจากภาพใหญ่ ภาพจากสแกนเนอร์ และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล ภาพทั้งสามประเภทนี้มีลักษณะแตกต่างกันไป คือการมีสัญญาณรบกวนและความแปรปรวนของแสงแตกต่างกัน เป็นต้น การประเมินผลการทดลองทำโดยประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพและการประเมินโดยเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพของทั้งสองวิธีการ

การประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพนี้ประเมินโดยคนจำนวน 30 คน ซึ่งแบบการประเมินผลอยู่ในภาคผนวก ข. ผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีการจัดเรียงภาพทั้งสองแบบที่เสนอสามารถจัดเรียงภาพในลักษณะต่าง ๆ ได้ถูกต้อง แต่สำหรับการจัดเรียงภาพโดยขอบของวัตถุในภาพ การจัดเรียงภาพจะช้าหรือจัดเรียงภาพผิดได้ในกรณีที่ชุดภาพที่มีขอบของวัตถุมากหรือมีขอบของวัตถุคล้ายคลึงกันมาก สำหรับการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ การจัดเรียงภาพจะช้าหรือจัดเรียงผิดในกรณีที่แต่ละภาพที่ซ้อนกันในชุดภาพมีโทนสีแตกต่างกันหรือกรณีที่บริเวณที่ซ้อนทับในแต่ละการเลื่อนภาพมีความคล้ายคลึงกันมาก

การประเมินความเร็วของการจัดเรียงภาพทำโดยการเปรียบเทียบวิธีการจัดเรียงภาพทั้งสองวิธี โดยทดสอบกับชุดภาพที่ตัดส่วนจากภาพใหญ่โดยเปรียบเทียบเป็น 3 แบบ คือเปรียบเทียบการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบด้วยภาพที่มีจำนวนขอบแตกต่างกัน เปรียบเทียบการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบด้วยภาพที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยของค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพต่าง ๆ กัน และเปรียบเทียบวิธีการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบกับวิธีการสีและขอบ

สรุปได้ว่า การเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบ ภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากจะจัดเรียงภาพช้ากว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อย ส่วนการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการสีและขอบ ภาพที่มีค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบคู่สีในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากจะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบคู่สีในแต่ละการแปลงภาพใกล้เคียงกัน และสุดท้ายการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยวิธีการขอบกับวิธีการสีและขอบนั้น การจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพเร็วกว่าการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุเพียงอย่างเดียว ยกเว้นในกรณีที่ภาพมีขอบของวัตถุจำนวนน้อยแต่มีค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบคู่สีในแต่ละการแปลงภาพใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อจะเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำโมเสกภาพแนวระนาบเป็นวิธีการเชื่อมภาพขนาดเล็กที่มีบริเวณซ้อนทับกันจำนวนหลายภาพเข้าด้วยกัน โดยในงานวิจัยนี้เน้นถึงกระบวนการจัดเรียงภาพเป็นลำดับขั้น วิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การเปรียบเทียบขอบของวัตถุแบบ Chamfer เติงลำดับขั้น โดยนำส่วนของการเปรียบเทียบแบบ Chamfer และเทคนิคพีระมิดของความละเอียดมาใช้ และได้ปรับปรุงในส่วนของการเลือกภาพระยะทางและภาพ Polygon และเกณฑ์การคัดออกให้เหมาะสมกับการทำโมเสกภาพ นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังใช้การเปรียบเทียบโดยนำลักษณะเด่นทางสีเข้ามาช่วยในการจัดเรียงภาพเพื่อช่วยลดพื้นที่การแปลงภาพและพื้นที่การค้นหาค่าตอบที่เป็นไปได้ซึ่งส่งผลให้การประมวลผลเร็วมากยิ่งขึ้น

กระบวนการจัดเรียงภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเป็นสองวิธี คือ วิธีการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพและวิธีการจัดเรียงโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ หลักการของการจัดเรียงภาพเริ่มต้นจากการนำภาพนำเข้าไปในสองลำดับแรกมาสร้างเป็นพีระมิดของภาพระยะทางและพีระมิดของภาพ Polygon และการจัดเรียงทำกับภาพในพีระมิดที่ระดับความละเอียดต่ำที่สุดก่อน โดยวัดความคล้ายกันของบริเวณที่ซ้อนทับกันของทุก ๆ การแปลงภาพที่เป็นไปได้ด้วยตัววัดความคล้ายคลึงกันที่เรียกว่าค่าเฉลี่ยค่า r.m.s ของระยะทางขอบแบบ 3-4 และฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันสี จากนั้นคำนวณค่าขีดแบ่งจากเกณฑ์การคัดออกเพื่อกำจัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมออกไป ตำแหน่งที่เหลืออยู่จะถูกนำไปพิจารณาการจัดเรียงภาพในลักษณะเดียวกันในพีระมิดภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น สดท้ายการแปลงภาพที่ดีที่สุดและใช้ในการรวมภาพจะได้จากการแปลงภาพที่วัดค่าความคล้ายกันได้ดีที่สุด

วิธีการจัดเรียงภาพที่เสนอขึ้นมานี้ได้นำมาทดสอบกับชุดภาพที่เกิดจากการตัดส่วนจากภาพขนาดใหญ่และจากภาพจริงที่ได้มาจากการรับข้อมูลโดยผ่านทางสแกนเนอร์และกล้องดิจิทัล การประเมินผลในทำ

การทำโมเสกภาพนี้ประเมินได้ใน 2 ลักษณะคือด้านความถูกต้องและประเมินผลโดยการเปรียบเทียบความเร็วของทั้งสองวิธี

การประเมินผลด้านความถูกต้องนั้นทำโดยใช้คนประเมินจำนวน 30 คน สรุปได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพนั้นมีทั้งที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง ความผิดพลาดส่วนใหญ่เกิดเมื่อชุดภาพนำเข้ามีลักษณะขอบของวัตถุในภาพคล้าย ๆ กันหรือเมื่อชุดภาพนำเข้ามีความเป็นขอบสูง ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพก็มีทั้งที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องเช่นเดียวกัน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมักเกิดเมื่อโทนสีในแต่ละภาพที่ซ้อนทับกันในชุดภาพนำเข้าต่างกันมากหรือเมื่อชุดภาพนำเข้าที่มีค่าสีของบริเวณที่ซ้อนทับกันคล้าย ๆ กันหลายตำแหน่งในภาพ แต่สำหรับภาพโดยทั่วไปแล้วการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพนั้นมีความถูกต้องมากกว่าการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ

การประเมินผลโดยการเปรียบเทียบด้านความเร็วนั้น แบ่งเป็น 3 แบบ คือ แบบแรกเป็นการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพน้อยกว่าจะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพมากกว่า แบบที่สองเป็นการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ว่าภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพแตกต่างกันมากกว่าจะจัดเรียงภาพได้เร็วกว่าภาพที่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพใกล้เคียงกัน และแบบที่สามเป็นการเปรียบเทียบความเร็วของการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพเปรียบเทียบกับ การจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้สรุปได้ว่าการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพเร็วกว่าการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุเพียงอย่างเดียว ยกเว้นในกรณีที่มีภาพที่มีขอบของวัตถุในภาพจำนวนน้อยแต่มีค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันในแต่ละการแปลงภาพใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ยังมีส่วนที่ควรปรับปรุงหรือพัฒนาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากการรับข้อมูลนำเข้า
2. การลดขนาดข้อมูลภาพก่อนจัดเรียงภาพ อาจทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น
3. ปรับปรุงการควอนไทซ์สีให้เหมาะสมกับความแปรปรวนของแสงที่เกิดจากการรับข้อมูล เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากขึ้น
4. พัฒนาเกณฑ์การคัดออกให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อให้การประมวลผลเร็วขึ้นและเพิ่มความถูกต้องในการจัดเรียงมากขึ้น

5. พัฒนากลยุทธ์ในการค้นหา เพื่อลดขอบเขตการค้นหาคำตอบลงซึ่งจะทำให้วิธีการทำงานเร็วขึ้น
6. พัฒนาวิธีการปรับภาพให้กลมกลืน เพื่อให้ภาพผลลัพธ์มีความเหมือนจริงมากขึ้น
7. ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีการจัดเรียงภาพกับชุดภาพประเภทอื่น ๆ เช่นภาพที่มีการแปลงภาพโดยการหมุน, ภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพโดยการหมุนกล้อง หรือภาพที่มีการเคลื่อนไหวภายในภาพ เพื่อสามารถสร้างภาพโมเสกได้จากภาพนำเข้าไปในลักษณะอื่น ๆ ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. S. Peleg, and J. Herman. Panoramic Mosaics by Manifold Projection. IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition, 1997: 338-343.
2. A. P. Whichello, and H. Yan. Document Image Mosaicing. IEEE Conference Pattern Recognition, 1998: 1081-1083.
3. R. D. T. Janssen and A. M. Vossepoel. Compilation of Mosaics From Separately Scanned Line Drawings. IEEE Workshop on Application of Computer Vision, 1994: 36 – 43.
4. D. Milgram. Computer Methods for Creating Photomosaics. IEEE Transactions on Computers, 1975: 1113-1119.
5. C. Guestrin, F. Cozman, and M. Godoy Simoes. Industrial Applications of Image Mosaicing and Stabilization. IEEE Conference Knowledge-Based Intelligence Electronic Systems , 1998: 174-183.
6. R. Szeliski. Image Mosaicing for Tele-reality Applications. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 1994: 44-53.
7. R. C. Gonzalez and Richard E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.: Addison-Wesley, 1993.
8. G. Borgefors. Hierarchical Chamfer Matching : A Parametric Edge Matching Algorithm . IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, Vol. PAMI –10, 1988: 849-865.
9. J. R. Smith and S.-F. Chang. Tools and Techniques for Color Image Retrieval. In Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology – Storage & Retrieval for Image and Video Databases IV, vol 2670, 1996.
10. M. J. Swain and D. H. Ballard. Indexing via Color Histograms. Third International Conference on Computer Vision, 1990: 390-393.



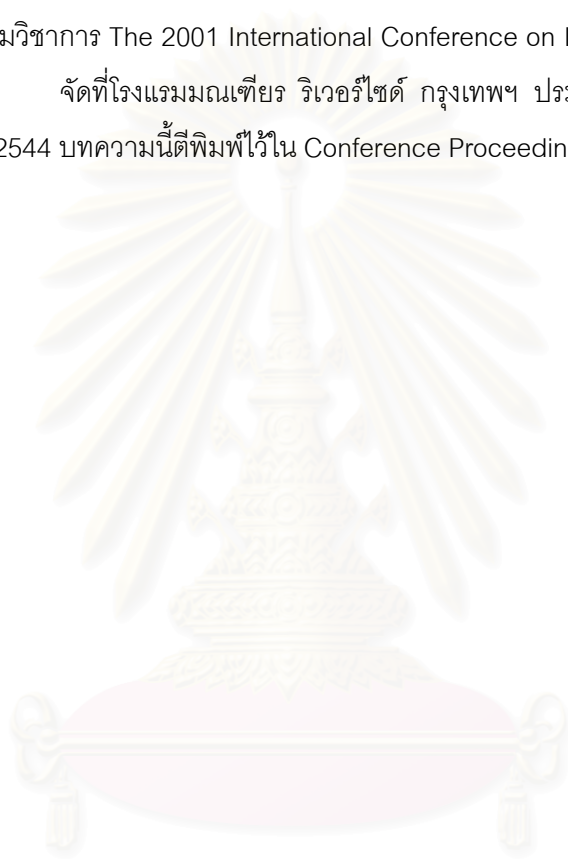
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ

บทความเรื่อง “Planar Image Mosaicing By Hierarchical Chamfer Matching Algorithm” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 2001 International Conference on Information Technology for the New Millennium จัดที่โรงแรมมณเฑียร ริเวอร์ไซด์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 28 - 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Conference Proceedings IconIT'2001 หน้า 145 - 152



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PLANAR IMAGE MOSAICING BY HIERARCHICAL CHAMFER MATCHING ALGORITHM

Piyachat Dhanaraks and Nongluk Covavisaruch

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand
b0408121@student.chula.ac.th, nongluk.c@chula.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a technique for planar image mosaicing where a series of ordered and partial overlapping images are combined into one large image in a one-by-one sequence. Hierarchical chamfer matching algorithm (HCMA) is used in image alignment to find the best matching position from edge feature in multi-resolution pyramid. Unlike many mosaicing software packages, this technique needs no human guidance of individual image location. The intensities or colors at overlapping areas are blended from intensity or color averaging of the two images. From our experiments, this technique gives good results on both gray-scale images and color images. However, the performance on images with a lot of edges needs to be further improved as the computation time is still unacceptably high.

INDEX TERMS: Hierarchical chamfer matching algorithm, image alignment, image mosaicing, multi-resolution

INTRODUCTION

As the field of view of a picture from a digital camera is much smaller than human visual field of view, there are needs in creating a panorama view from a sequence of images. A good combined image is expected to be visually smooth and seamless. The planar image mosaicing in this paper refers to a process of combining two or more planar images into one larger image.

In general, image mosaicing can be divided into two major procedures that are image alignment and image blending, and the quality of a combined image depends highly on image alignment. Image mosaicing has been first implemented for aerial and satellite images before the age of digital computer. Image alignment process has to be done manually by determining ground control points (GCPs) for referencing positions and for combining smaller images. Automatic alignment without human intervention has been developed later on. [Milgram 1975, 1977]

In recent years, the interest of image mosaicing has grown in several applications such as creating a mosaic image from separately scanned pieces [Janssen and Vossepel 1994], [Schutte and Vossepel 1995], [Whichello and Yan 1998]. Schutte and Vossepel [Schutte and Vossepel 1995] have described the use of a flatbed scanner to capture a large utility map. They have selected corresponding points in different utility map images to find the displacements required to shift from one map to the next. These control points are found

from the best matched of edges of both maps. Whichello and Yan [Whichello and Yan 1998] have described a mosaicing process for binarised document images taken with a digital camera and a small flatbed scanner. According to Whichello's and Yan's method, the best alignment can be found by using a form of correlation, namely XOR correlation, and an image pyramid has also been applied to speed up the process. Peleg and Herman [Peleg and Herman 1997] have described creating panoramic mosaics by manifold projection constructing from video sequences. The basic idea is the alignment of which contribute to the mosaic, rather than the alignment of entire overlap between frames. Borgefors [Borgefors 1988] has proposed hierarchical chamfer matching algorithm (HCMA) which is an edge-matching algorithm. It has been pointed out that this algorithm can be adapted to different matching tasks and applications such as analysis of image sequences, and identifying and locating pre-specified objects in digital images, etc.

In this research, HCMA is adopted and applied to planar image mosaicing where a combined image is constructed from a series of unguided location but ordered and partial overlapping images. The transformation of image series dealt in this research is limited to translation only.

HIERARCHICAL CHAMFER MATCHING ALGORITHM [Borgefors 1988]

As mentioned in the previous section, HCMA has been proposed as a parametric edge-matching algorithm. The best-fit position can be found by minimizing a generalized distance between the edge points from two different images. The method is speeded up by resolution pyramid approach. The matching result at lower resolution level guides the areas to be evaluated in the next higher resolution level, and hence, reducing the size of alignment position candidates.

The basic concepts of HCMA can be explained as follows:

- Pre-distance and Pre-polygon Images

In the edge-matching HCMA, two binary edge-images are needed. The first one is converted to a pre-distance edge image and the other, to a pre-polygon image. A pre-distance image is the result from a process called distance transformation (DT). The distance of any pixel from its nearest edge pixel is calculated and collected. The DT used in HCMA is the 3-4 DT. The algorithm starts with setting all edge pixels to zero's and all non-edge pixels to infinite. Then, the chamfer 3-4 DT is computed by propagating the local distances, each pixel obtains a new value at each iteration using the expression:

$$v_{i,j}^k = \min (v_{i-1,j-1}^{k-1} + 4, v_{i-1,j}^{k-1} + 3, v_{i-1,j+1}^{k-1} + 4, v_{i,j-1}^{k-1} + 3, v_{i,j}^{k-1}, v_{i,j+1}^{k-1} + 3, v_{i+1,j-1}^{k-1} + 4, v_{i+1,j}^{k-1} + 3, v_{i+1,j+1}^{k-1} + 4) \quad \dots (1)$$

where $v_{i,j}^k$ is the value of the pixel in position (i,j) at iteration k.

The iterations continue until no value changes.

The other input image of HCMA is a pre-polygon image that consists of a list of coordinate pairs of edge pixels. It is noted that, according to Borgefors [Borgefors 1988], the list is called polygon even though the points may be scattered or representing several polygon segments.

- Matching Measure and Optimal Positions

In HCMA, the polygon in pre-polygon image is put on top of the pre-distance image as shown in figure 1. The matching score is measured by a matching measure. The HCMA edge matching has chosen root mean square average (r.m.s. average) of the pixel values in the pre-distance image at the positions where corresponding polygon pixels exist as the edge distance. Equation 2 illustrates the r.m.s. average score. The perfect match between two edges is where the edge distance is zero while the best match is where the edge distance is minimal.

$$\text{score} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad \dots (2)$$

where v_i is the distance value and n is the number of points in polygon.

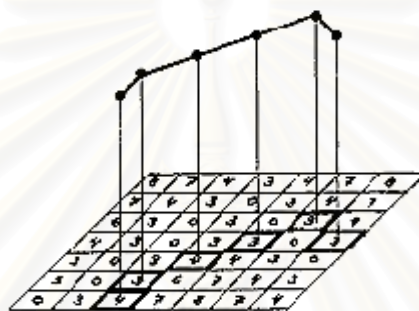


Figure 1. A polygon representing an edge is superimposed on a distance image.
[Borgefors 1988]

- Resolution Pyramid

A resolution pyramid is structured as follows: an original image is at level zero which is at the bottom of the pyramid, and at each higher level, the image size is scaled down by a factor of 2 on both height and width. For HCMA, the matching algorithm performs from the lowest resolution to the highest resolution level (level zero). Thus, a resolution pyramid of edge images, or an edge pyramid, and a resolution pyramid of distance images, or a distance pyramid, are created for matching at each level.

For the edge pyramid, the property that goes with the lower resolution level for the pre-polygon image is the status of whether it is linked to an edge in the higher resolution level. For the pre-distance image, an edge pyramid is created in the same way as that of the pre-polygon image, and then distance images are calculated afterwards by using the 3-4 DT.

APPLYING HCMA IN PLANAR MOSAICING APPLICATION

Our approach is to apply HCMA to planar mosaicing application for finding the overlapping portion of two images. The concept of combining a series of images begins with merging the first two images and then adding all of the consecutive images in a one-by-one sequence to their previous outputs.

Choosing which image to be a distance or a polygon image is application-oriented. Since the size of output image of image mosaicing grows continuously and computing a large pre-distance image consumes much more computational time than creating a pre-polygon of

the same size, we define the first image as the main referencing image transformed to pre-polygon and the other one, to pre-distance image. After combining two images, the output image becomes the main referencing image.

The proposed algorithm for planar mosaicing by HCMA is as shown in Figure 2.

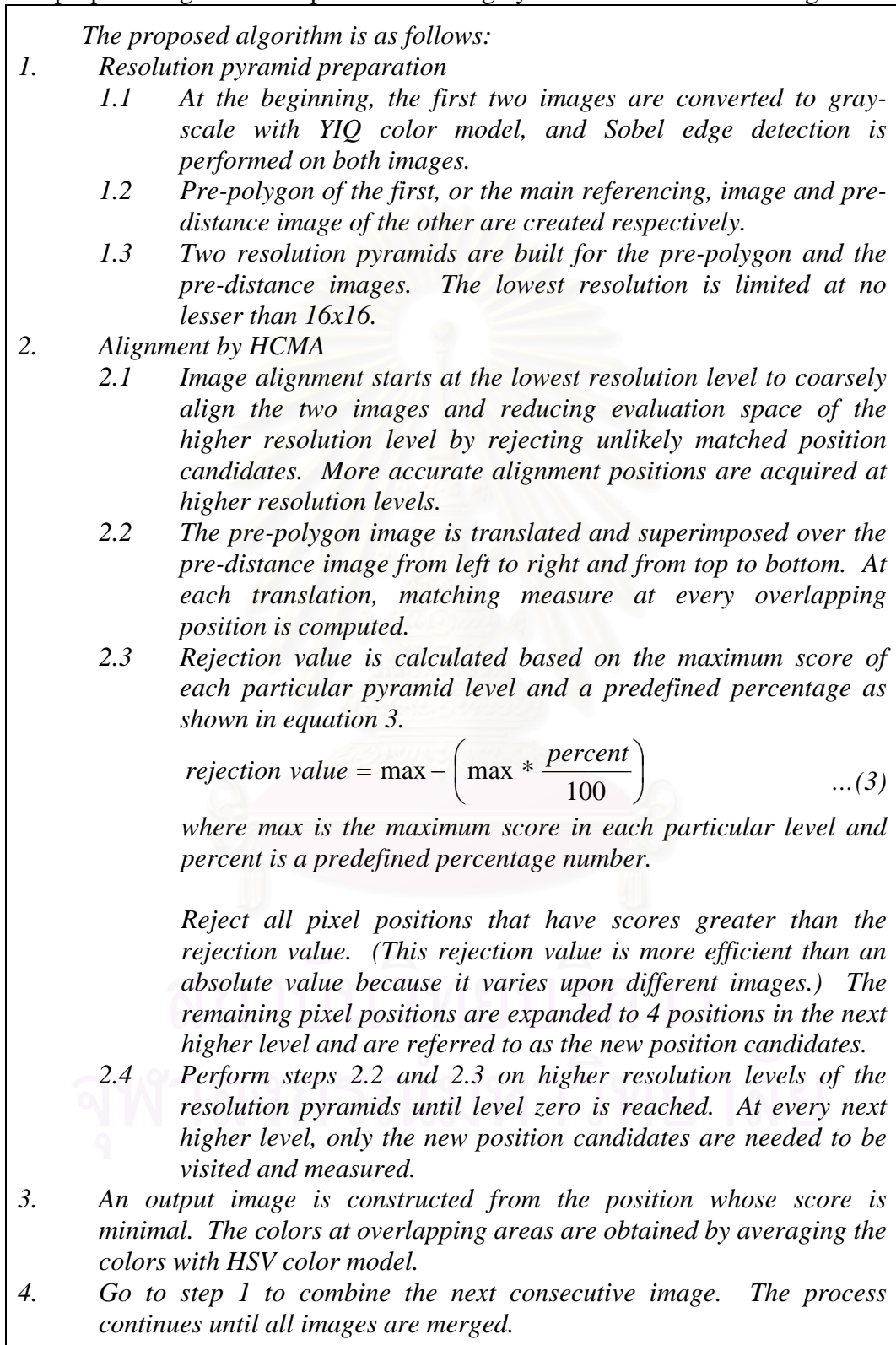


Figure 2. The proposed algorithm: Planar image mosaicing by HCMA.

EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed algorithm is tested on both gray-scale and color images. Figure 3 illustrates a series of gray-scale simple scene of the nuts and bolt, and the result from image mosaicing by HCMA. Figure 4 represents a series of color Thailand Northeast map obtained by a scanner, as well as the mosaic image result. Position candidates are reduced approximately 87% for images in figure 3, and 51% for images in figure 4. It is noted that the percentage of position candidate reduction is calculated by averaging the reduction percentages of all resolution pyramid levels of all combined images.

DISCUSSION

From our experiments, it can be seen that HCMA applied to planar image mosaicing can align image series satisfactorily. For the case of gray-scale simple scene image series such as those in figure 3, edge points, as well as noise, in the pre-polygon images are low, and hence, HCMA technique can reduce a large number of position candidates (approximately 87%). The whole process of mosaicing is therefore fast. The output results appear very natural.

For the test scanned color image in figure 4, pre-polygon images from Sobel operation contain a lot of pixel points. This is due to several reasons. A map image naturally contains many more edges than a simple scene image such as the nuts and bolt image. The nature of map printing and the image acquisition process, scanning by a scanner, can both cause a lot of pixel points in the image data. Since there are a lot of existing points in the pre-polygon image, the calculated matching scores at each transformed position are not much different, and consequently, only a small number of position candidates are rejected. Although increasing the percentage value in equation 3 can loose the rejection criterion, and this can result in speeding up the whole process, it also increases the chance of misalignment. Even though about 51% position candidates are rejected, there are still a lot of positions to evaluate, and hence, the whole process is still time-consuming.

From our experiments, it is noticed that the success of this proposed algorithm depends highly on two major factors. The first one is the edge detection method. If the chosen algorithm can greatly reduce noise, such as Canny edge detection algorithm, the alignment algorithm will be more robust. The second factor is that good rejection criteria can cause the hierarchical technique more efficient and consequently, misalignment decreases.

CONCLUSION

In this paper, we propose a method for planar mosaicing application applied from hierarchical chamfer matching by Borgefors [Borgefors 1988]. The inputs of the alignment process are a sequence of unguided location, ordered and overlapping images. The alignment algorithm starts at the lowest resolution level to help guiding the alignment process in higher resolution levels. The rejection criterion used in this method is calculated based on the particular level's maximum score and a pre-defined percentage number. The position whose score is minimal is optimal. After the alignment process, images are combined and blended by averaging colors at the overlapping area. From our experiments, simple scenes can be aligned successfully within few seconds. In the case of the complex scenes, the method is time-consumed because there are a lot of edge points in low-resolution images which results in a small number of rejected positions. Loosing the rejection criterion can quicken the process but may remove the best position, and hence misalignment occurs. The algorithm's performance depends on two important factors which are the edge detection method and the

rejection criteria. However, the performance on images with a lot of edges needs to be improved as the process is still unacceptable time-consuming. Our current research aims to improve this planar mosaic image method and focuses on color as another image feature to be used in the method.

REFERENCES

- Borgefors, G. 1988. "Hierarchical Chamfer Matching: A Parametric Edge Matching Algorithm," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No. 6, pp. 849-865.
- Janssen, R., and Vossepoel, A. 1994. "Compilation of Mosaics from Separately Scanned Line Drawings," *IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, pp. 36-43.
- Milgram, D. 1975. "Computer Methods for Creating Photomosaics," *IEEE Transaction on Computers*, Vol. C-24, pp.1113-1119.
- Milgram, D. 1977. "Adaptive Techniques for Photomosaicking," *IEEE Transaction on Computers*, Vol. C- 26, pp. 1175-1180.
- Peleg, S. and Herman, J. 1997. "Panoramic Mosaics by Manifold Projection," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 338-343.
- Schutte, K., and Vossepoel, A. 1995. "Accurate Mosaicing of Scanned Maps, or How To Generate a Virtual A0 Scanner," *Proceedings of the First Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging, Heijen, the Netherlands*, pp. 353-359.
- Whichello, A. P., and Yan, H. 1998. "Document Image Mosaicing," *IEEE Conference on Pattern Recognition*, Vol. 2, pp.1081-1083.

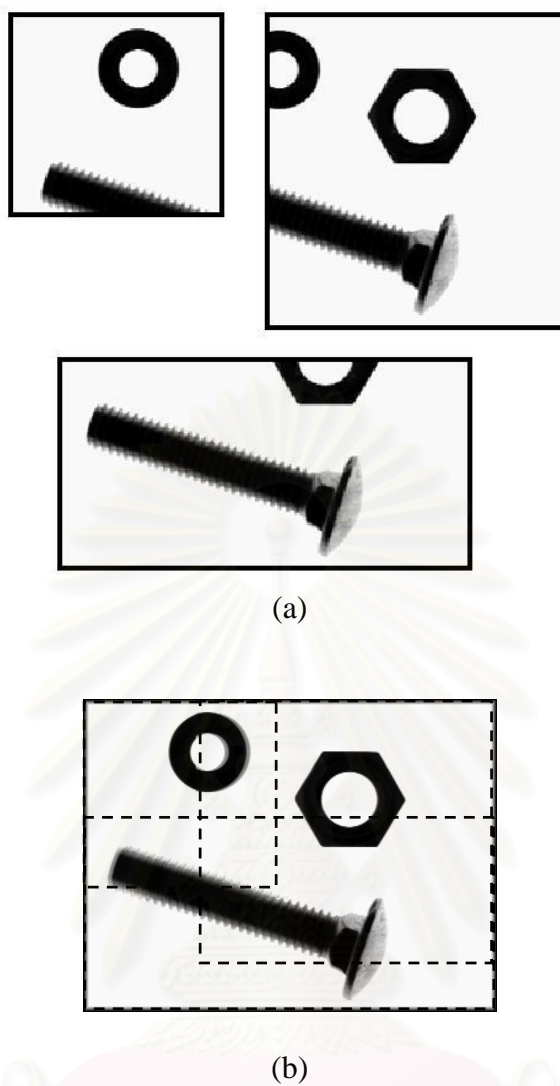


Figure 3. Gray-scale image sample of nuts and bolt.
(a) Input images and (b) Planar Mosaic Image constructed from (a).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Figure 4. Color image sample of Thailand Northeast map.
 (a) Input images and (b) Planar mosaic image constructed from (a).

ภาคผนวก ข

แบบการประเมินผล

แบบการประเมินผลใช้ในการประเมินผลความถูกต้องของการจัดเรียงภาพทั้งสองวิธีที่ใช้ในงานวิจัย คือการจัดเรียงภาพโดยใช้ขอบของวัตถุในภาพและการจัดเรียงภาพโดยใช้สีและขอบของวัตถุในภาพ ประกอบด้วยคำถามทั้งหมดจำนวน 80 ข้อ จากภาพนำเข้า 3 ประเภทคือภาพจากการตัดส่วนจากภาพใหญ่ ภาพจากเครื่องสแกนเนอร์ และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

การประเมินใช้คนประเมินจำนวน 30 คนซึ่งประเมินความถูกต้องในการจัดเรียงภาพจากความรู้สึกของผู้ประเมิน โดยพิจารณาจากตำแหน่งของการจัดเรียงภาพ แต่ไม่พิจารณาเรื่องความกลมกลืนของสีในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบบการประเมินความถูกต้อง หากภาพผลลัพธ์ภาพใดที่มีผู้ประเมินพิจารณาว่าถูกต้องเกิน 80% ถือว่าภาพผลลัพธ์นั้นมีการจัดเรียงภาพถูกต้อง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินผลความถูกต้องของการจัดเรียงภาพโมเสก

ในแบบสอบถามนี้เป็นการประเมินความถูกต้องของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเชื่อมภาพขนาดเล็กเข้าด้วยกัน ภาพขนาดเล็กเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน การประเมินความถูกต้องจะพิจารณาจากตำแหน่งที่ซ้อนทับกันของภาพ ไม่พิจารณาความกลมกลืนกันของสีในภาพ

คำจำกัดความที่ใช้ในการประเมิน

ถูกต้อง หมายถึงผลลัพธ์ของการเชื่อมภาพทุกภาพถูกต้องตามความรู้สึกของผู้ประเมิน

ไม่ถูกต้อง หมายถึงผลลัพธ์ของการเชื่อมภาพทุกภาพหรือบางภาพไม่ถูกต้องตามความรู้สึกของผู้ประเมิน

ชื่อ _____ นามสกุล _____

คำถามมีทั้งหมด 80 ข้อ กรุณาพิจารณาภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ของแต่ละชุดภาพ ท่านคิดว่าผลลัพธ์ที่ได้ถูกต้องหรือไม่

ชุดภาพที่	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ชุดภาพที่	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
001			041		
002			042		
003			043		
004			044		
005			045		
006			046		
007			047		
008			048		
009			049		
010			050		
011			051		
012			052		
013			053		
014			054		
015			055		
016			056		

ชุดภาพที่	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	ชุดภาพที่	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง
017			057		
018			058		
019			059		
020			060		
021			061		
022			062		
023			063		
024			064		
025			065		
026			066		
027			067		
028			068		
029			069		
030			070		
031			071		
032			072		
033			073		
034			074		
035			075		
036			076		
037			077		
038			078		
039			079		
040			080		



(ก)



(ค)



(ข)

รูปที่ ข.1 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 13.33%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ค)



(ข)

รูปที่ ข.2 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.3 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
 (ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.4 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

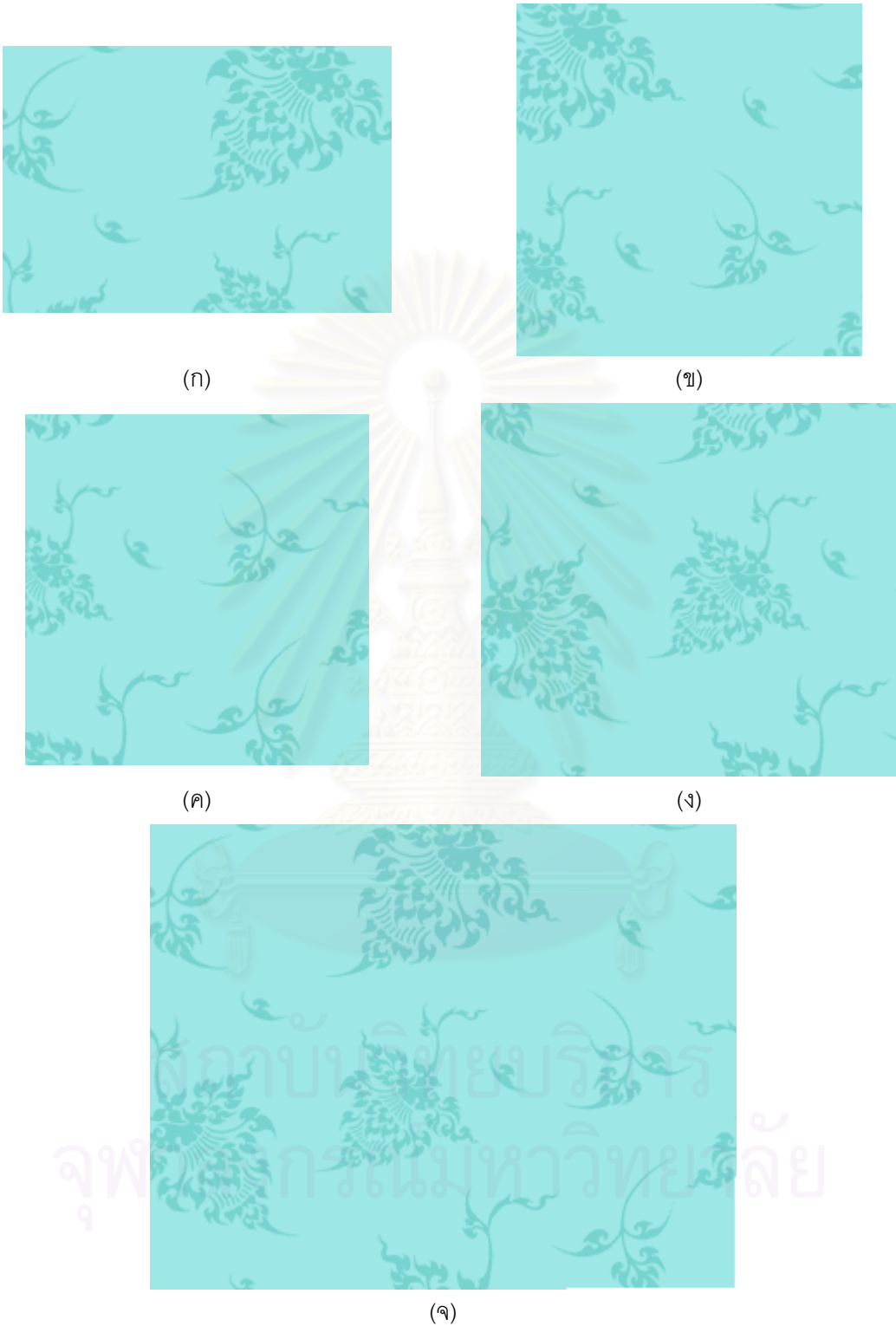


(ง)

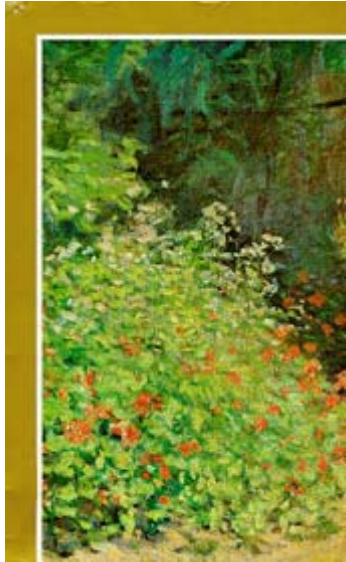


(จ)

รูปที่ ข.5 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



รูปที่ ๑๖. ภาพผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
 (ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

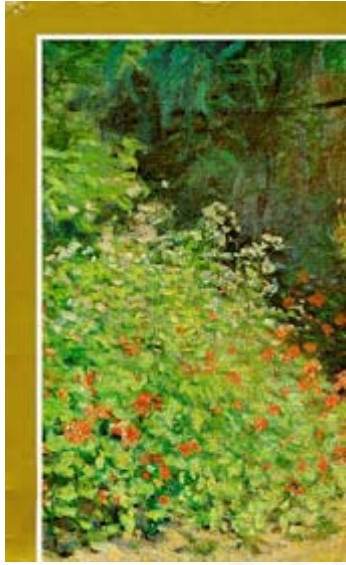


(จ)



(ค)

รูปที่ ข.7 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



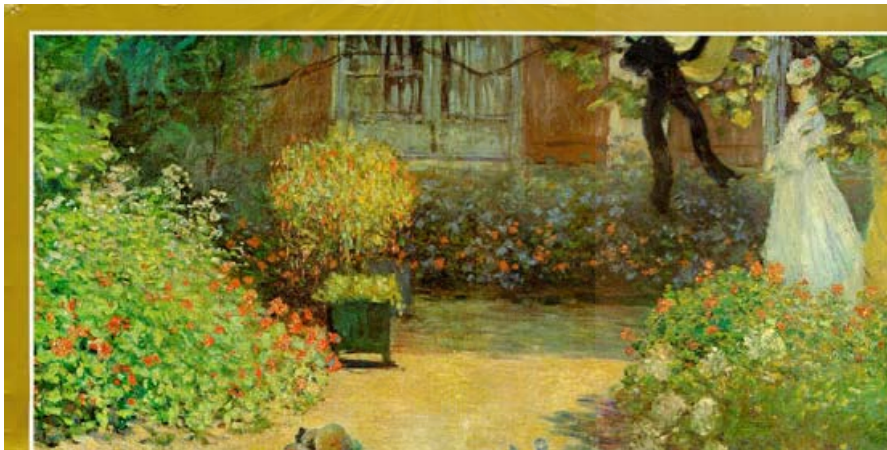
(ค)



(ง)



(จ)



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ค)

รูปที่ ข.8 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.9 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.10 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(๑)

รูปที่ ข.11 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (๑) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(๑)

รูปที่ ข.12 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (๑) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.13 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.14 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.15 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 80%
 (ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)

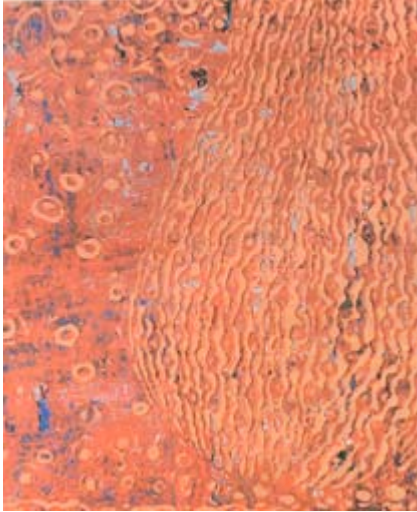


(ค)

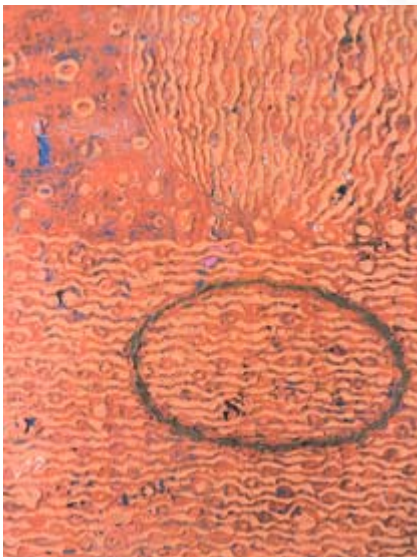


(ง)

รูปที่ ข.16 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 80%
 (ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



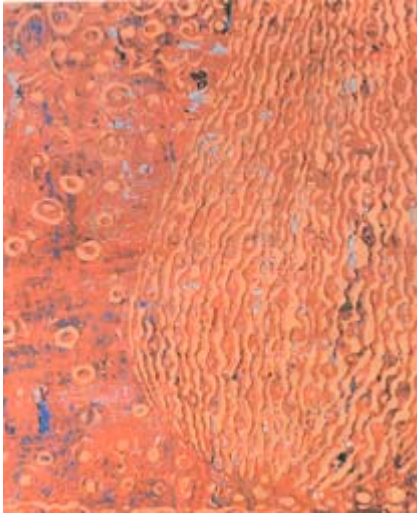
(ข)

(ค)



(ง)

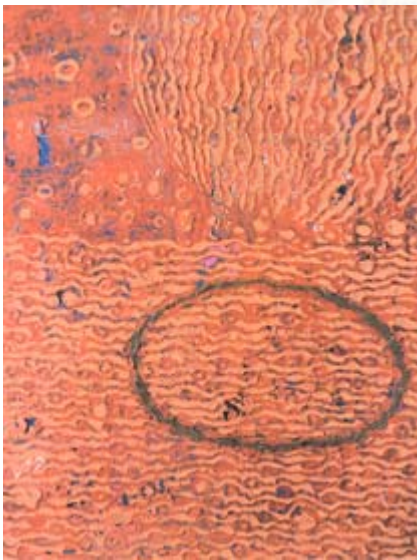
รูปที่ ข.17 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ค)



(ข)

วิทยาลัยบริการ
นันทน์มหาวิทาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

รูปที่ ข.18 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.19 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)

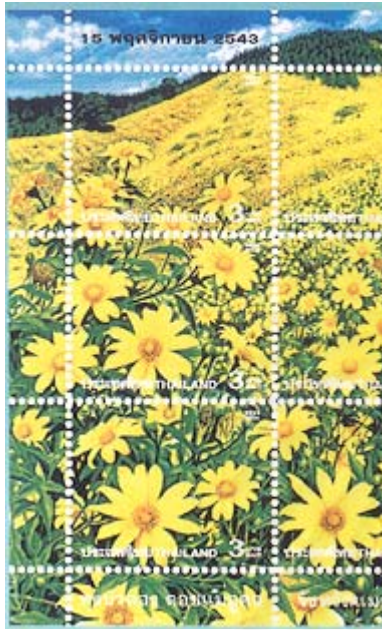


(ค)



(ง)

รูปที่ ข.20 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(๑)

รูปที่ ข.21 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (๑) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(จ)

รูปที่ ข.22 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33 %
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.23 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)

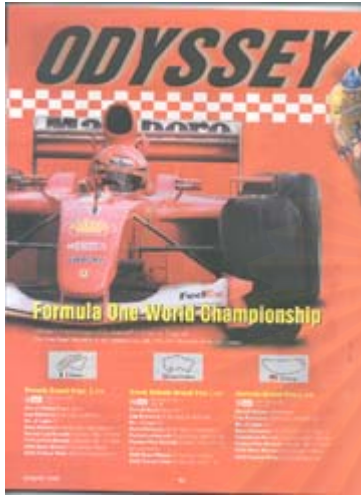


(ค)



(ง)

รูปที่ ข.24 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

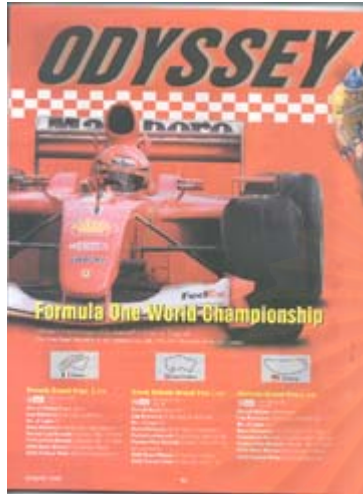


สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

รูปที่ ข.25 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

รูปที่ ข.26 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(ฉ)

รูปที่ ข.27 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.28 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.29 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

สถาบัน
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

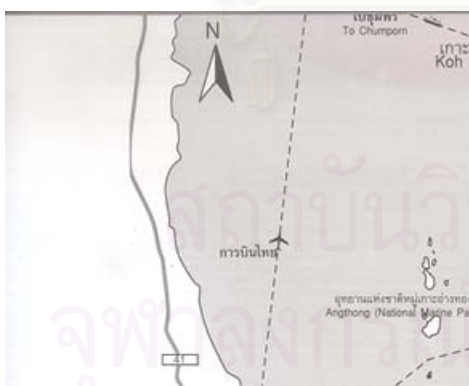
รูปที่ ข.30 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



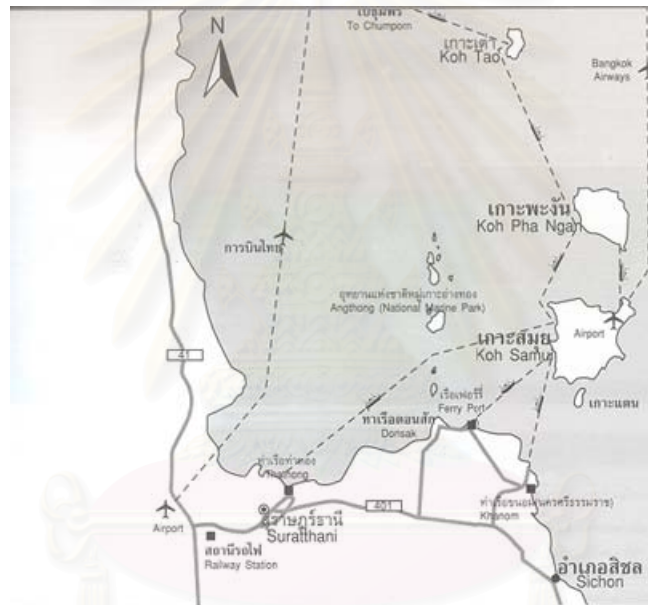
(ข)



(ค)



(ง)



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(จ)

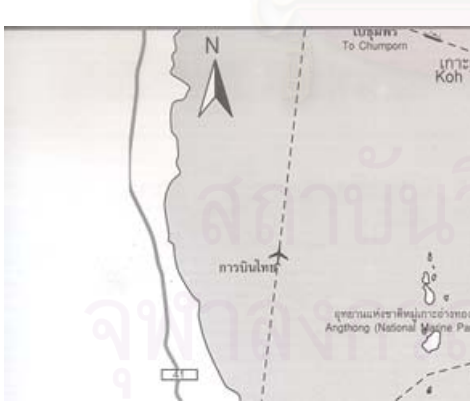
รูปที่ ข.31 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก)ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



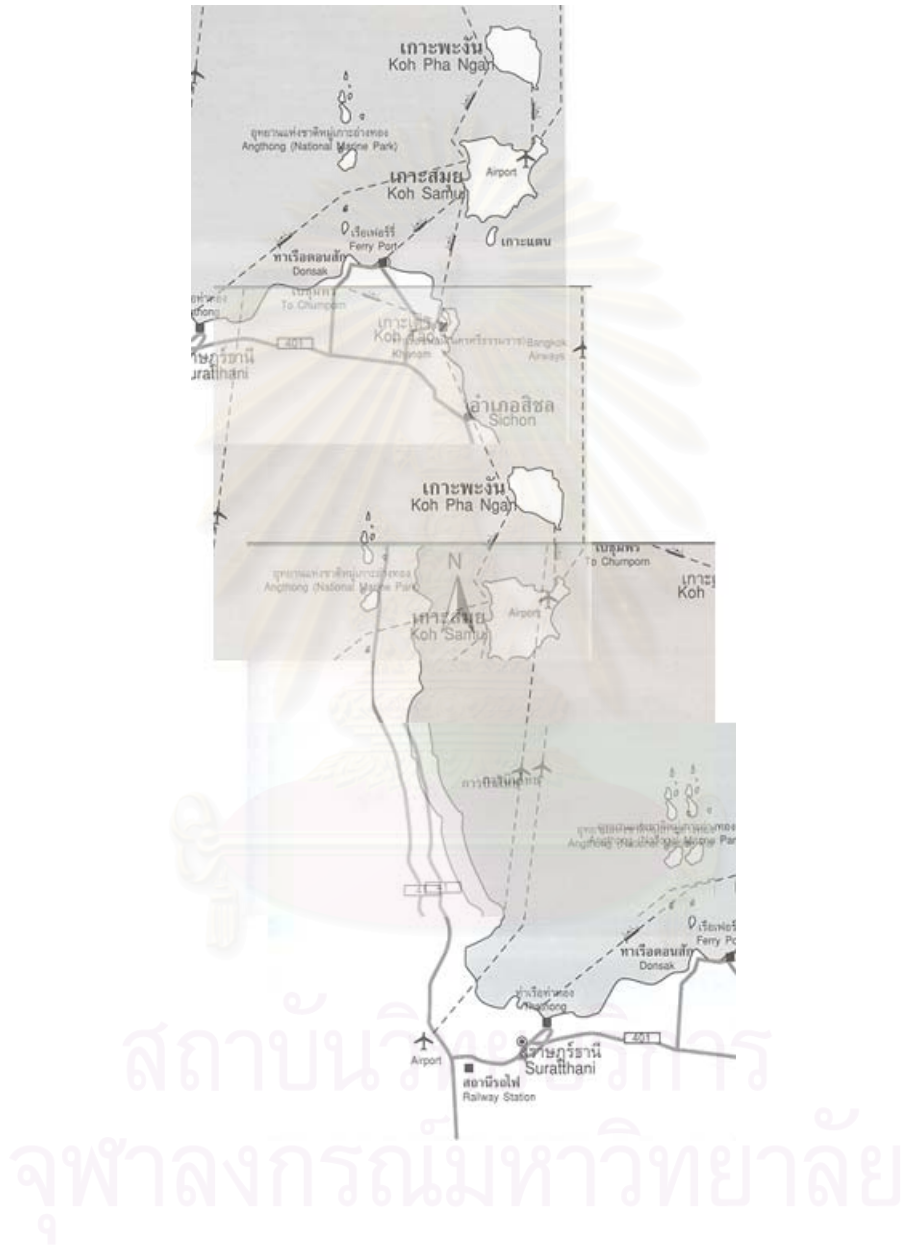
(ข)



(ค)



(ง)



(๑)

รูปที่ ข.32 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (๑) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.33 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.34 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.35 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.36 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

รูปที่ ข.37 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

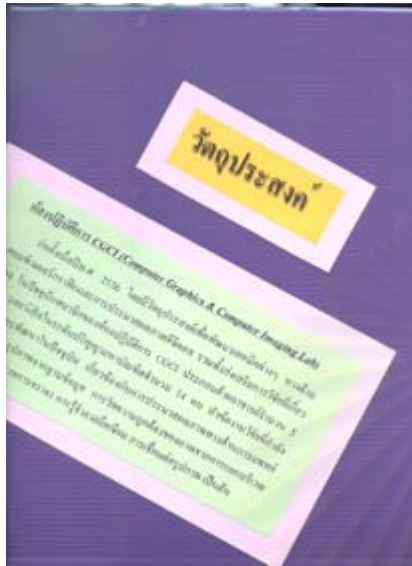
สถาบันดาราศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



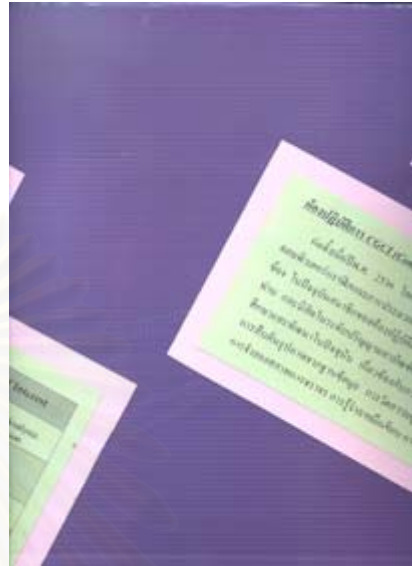
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

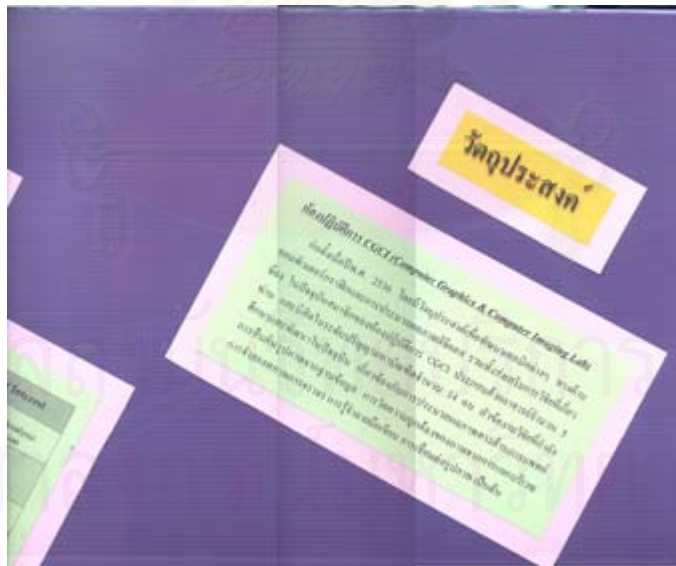
รูปที่ ข.38 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 80%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)

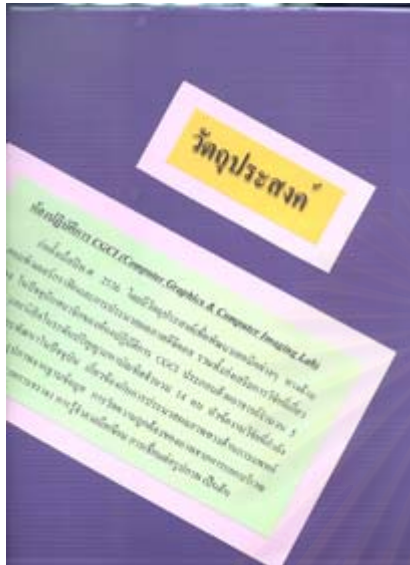


(ข)

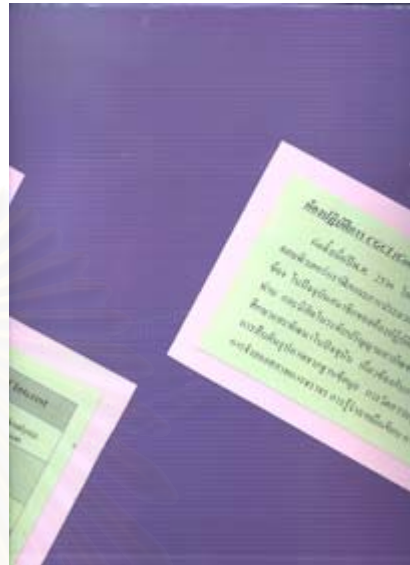


(ค)

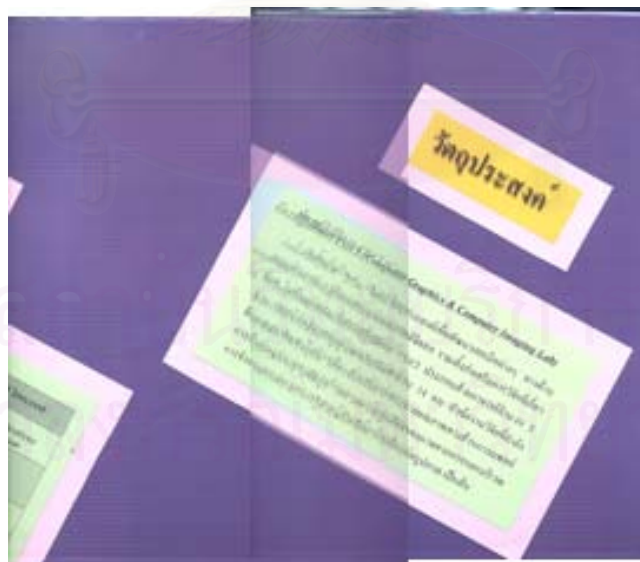
รูปที่ ข.39 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.40 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.41 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.42 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)

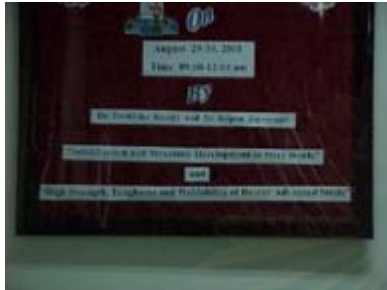


(ข)



(ค)

รูปที่ ข.43 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.44 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

สถาบันส่งเสริม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.45 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

สถาบันบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.46 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



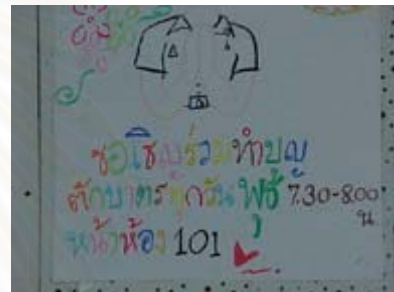
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.47 ภาพผลลัพท์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพท์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.48 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 13.33%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.49 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.50 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 96.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.51 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 86.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.52 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 83.33%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ ข.53 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ ข.54 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%

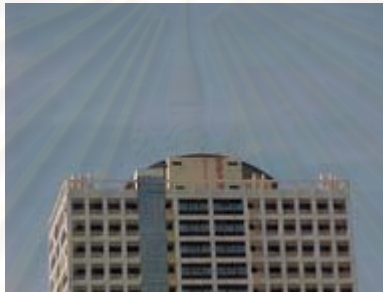
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.55 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 90%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.56 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
 (ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



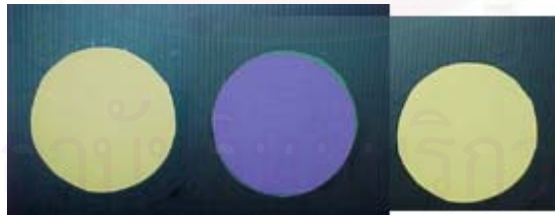
(ก)



(ข)



(ค)



สี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง)

รูปที่ ข.57 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.58 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 86.67%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.59 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.60 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 46.67%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.61 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.62 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 90%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)

(ข)



สถาบันวิชาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ค)

รูปที่ ข.63 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.64 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.65 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ ข.66 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.67 ภาพผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลิตภัณฑ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ข.68 ภาพผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลิตภัณฑ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.69 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

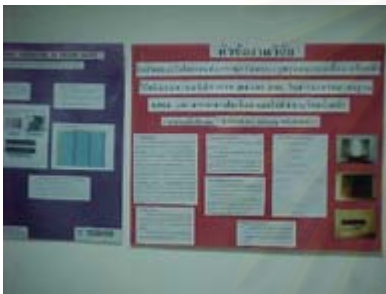
รูปที่ ข.70 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



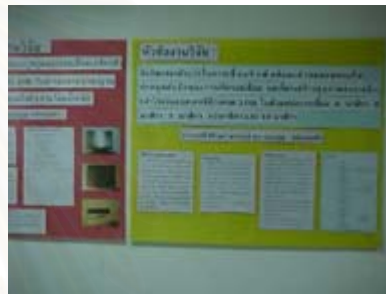
(ก)



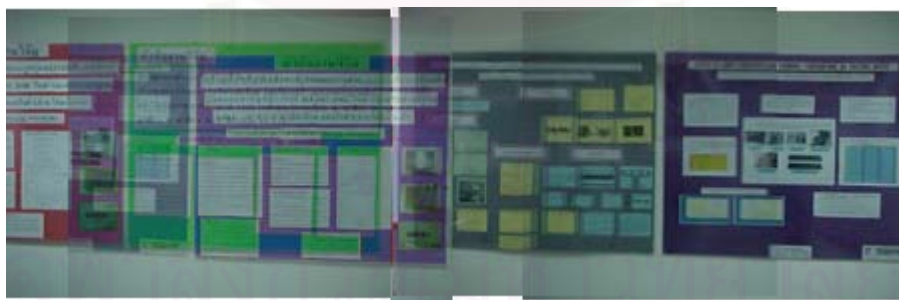
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

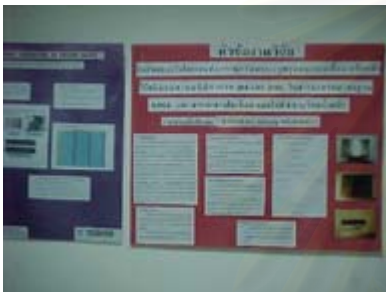
รูปที่ ข.71 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 13.33%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



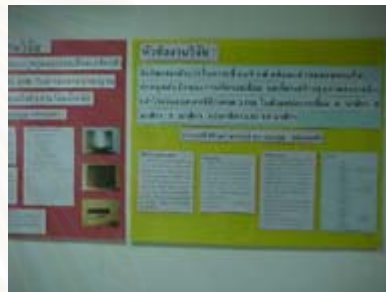
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

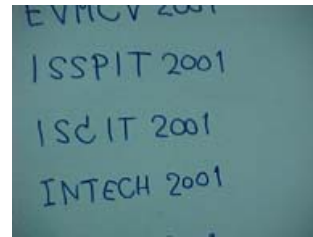


(จ)

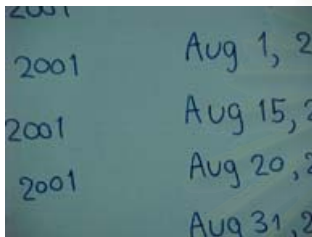
รูปที่ ข.72 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



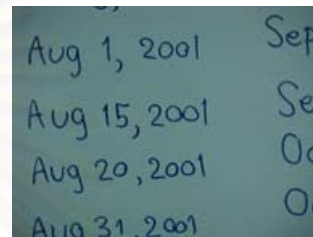
(ก)



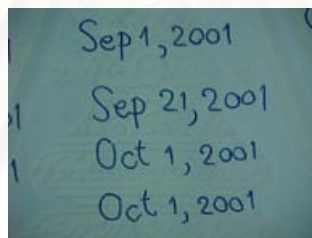
(ข)



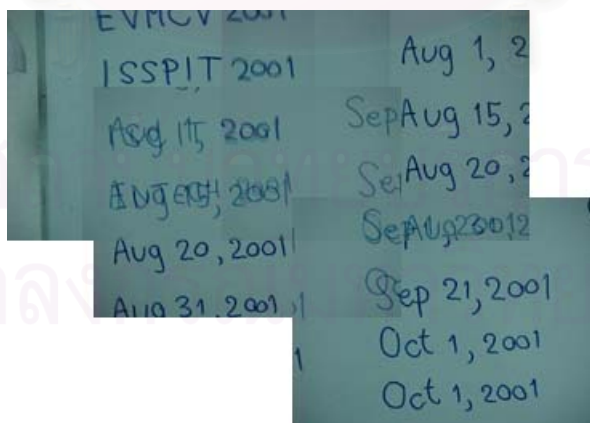
(ค)



(ง)



(จ)

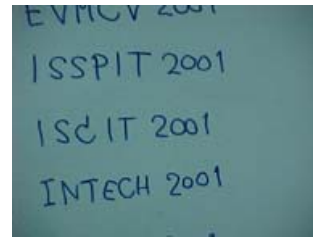


(ฉ)

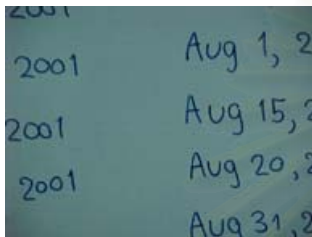
รูปที่ ข.73 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์



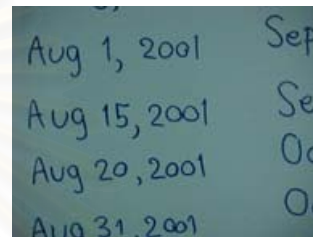
(ก)



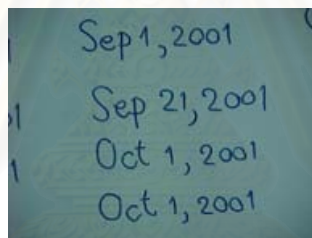
(ข)



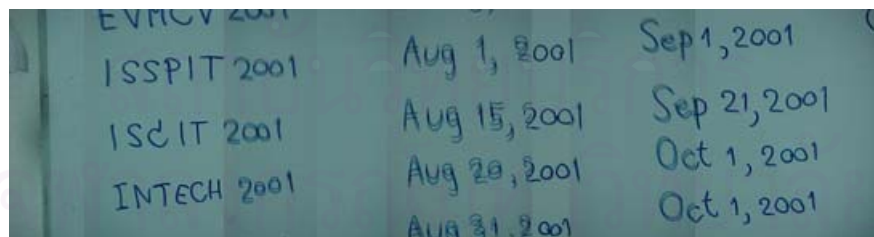
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

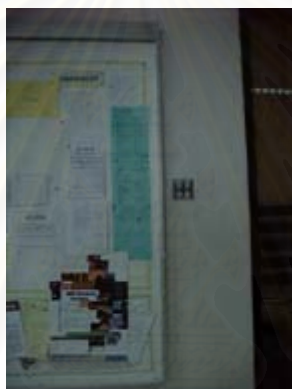
รูปที่ ข.74 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 83.33%
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.75 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
 (ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

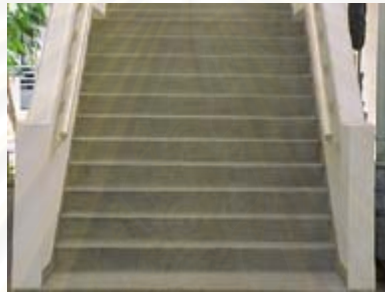
รูปที่ ข.76 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 93.33%
 (ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

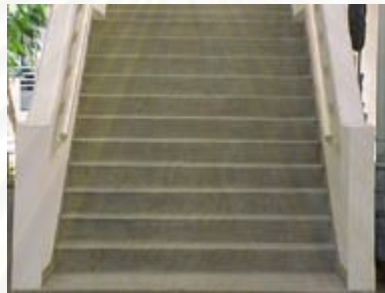
รูปที่ ข.77 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 0%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.78 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.79 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.80 ภาพผลลัพธ์มีความถูกต้องจากการประเมิน 100%
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปิยฉัตร ธนารักษ์ เกิดวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในปีการ
ศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชา
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเป็นผู้เสนอผลงานวิจัยด้านการ
ประมวลผลระดับนานาชาติในปี 2544 อีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย